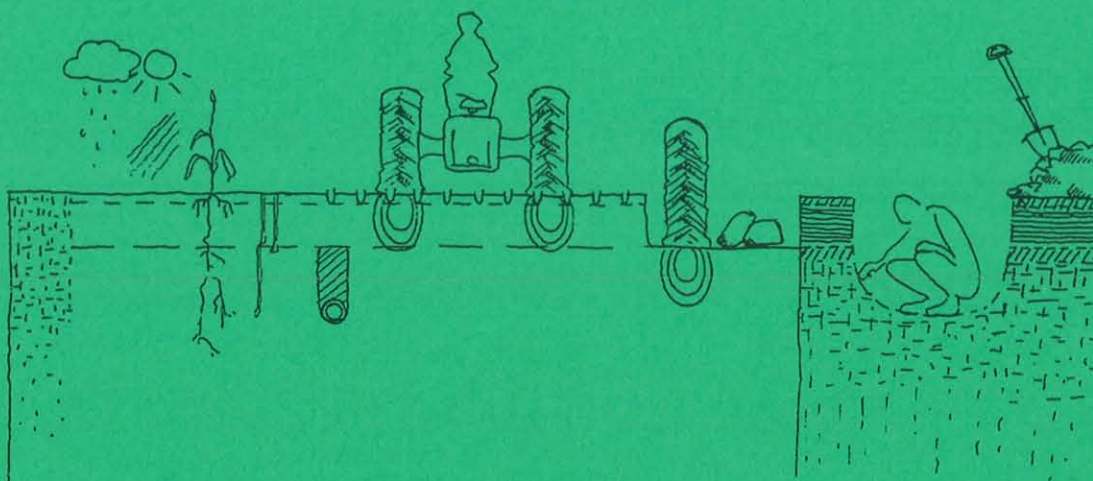


Markstrukturindex

-utvärdering av en metod att bedöma odlingssystemets
uthållighet och jordarnas fysikaliska status

Anna Gustafson - Bjuréus
Jörgen Karlsson



Examensarbete

Handledare: Kerstin Berglund

Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydraulics

Avdelningsmeddelande 02:2
Communications

Uppsala 2002

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--02/2--SE

The first part of the paper discusses the importance of understanding the cultural context of the research. It highlights the need for researchers to be sensitive to the values and beliefs of the communities they are studying. This is particularly important in the field of education, where cultural differences can significantly impact learning outcomes.

The second part of the paper focuses on the methodology used in the study. It describes the process of selecting participants, collecting data, and analyzing the results. The authors emphasize the importance of using a mixed-methods approach to gain a comprehensive understanding of the research topic.

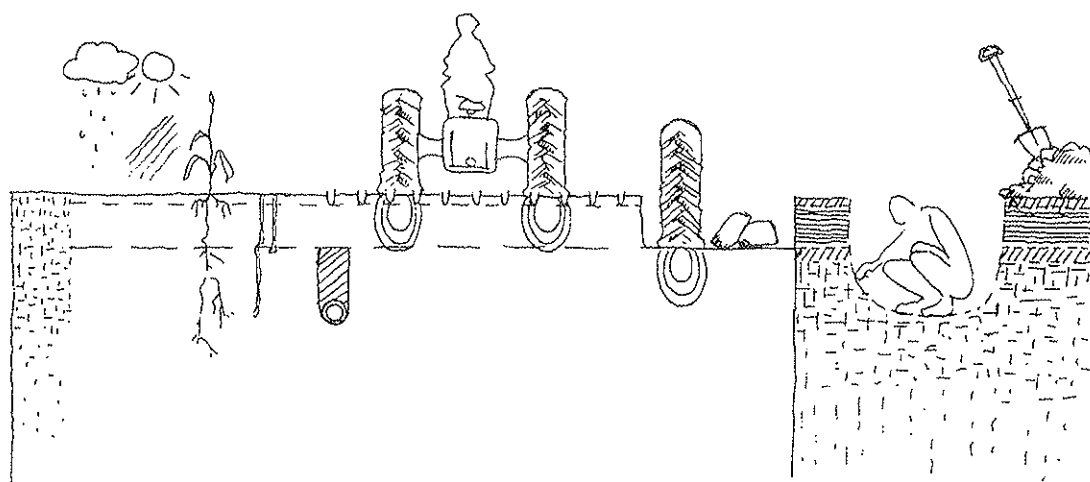
The third part of the paper presents the findings of the study. It discusses the results of the quantitative data analysis and the insights gained from the qualitative interviews. The authors conclude that there are significant cultural differences in the way that students learn and that these differences should be taken into account by educators.

The final part of the paper discusses the implications of the findings for future research and practice. It suggests that further studies should be conducted to explore the cultural factors that influence learning outcomes. Additionally, it recommends that educators should be trained to recognize and address the cultural needs of their students.

Markstrukturindex

-utvärdering av en metod att bedöma odlingssystemets uthållighet och jordarnas fysikaliska status

Anna Gustafson - Bjuréus
Jörgen Karlsson



Examensarbete

Handledare: Kerstin Berglund

Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydraulics

Avdelningsmeddelande 02:2
Communications

Uppsala 2002

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--02/2--SE

Förord

Detta examensarbete (motsvarande 40 poäng i agronomutbildningen) är en del av projektet "Fysikaliskt markpåverkansindex - ett sätt att bedöma odlingssystemens uthållighet och jordarnas fysikaliska status" som finansieras av Stiftelsen Lantbruksforskning och med undertecknad som projektledare. Ett fysikaliskt markpåverkansindex är en metod att bedöma odlingssystemens uthållighet genom att värdera och väga samman hur olika odlarberoende faktorer påverkar markstrukturen och markens fysikaliska egenskaper. Indexet består av tre delar. En grundförbättringsdel där effekterna av olika långsiktiga grundförbättringsåtgärder som t ex dränering och strukturkalkning bedöms, en odlingssystemdel där effekterna av brukarens årliga åtgärder värderas och ett enkelt markstrukturtest i fält som kan användas för att följa markstrukturens utveckling och öka brukarens kunskap om sin jord. I examensarbetet har odlingssystemdelen och fälttestet utvärderats genom en praktisk prövning på ett antal av pilotgårdarna i projektet "Odling i balans" (www.odlingibalans.com), med bistånd av projektledaren Lars Törner, och fyra gårdar i 4T-projektet (ett forskningsprojekt inom sockerbetsodlingen som stöds av bl.a. Stiftelsen Lantbruksforskning, Sveriges Betodlares Centralförening, Sockernäringens Samarbetskommitté och Danisco Sugar AB). Arbetet har mycket förtjänstfullt utförts gemensamt av agr stud Anna Gustafsson-Bjuréus och agr stud Jörgen Karlsson. Uppbyggnaden av indexet kommer att beskrivas mer ingående i en kommande rapport.

Uppsala 011101

Kerstin Berglund
Handledare

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

REFERAT	9
ABSTRACT	10
INLEDNING	11
Att mäta och beskriva markbördighet	11
Markstrukturindexet.....	12
Vårt examensarbete.....	13
BÖRDIGHETSBEGREPPET	14
Växtens grundbehov.....	14
Kvantitativ eller kvalitativ bedömning av bördigheten	15
Aspekter på bördighet.....	15
Påverkbara och opåverkbara faktorer.....	18
Aktuell och potentiell bördighet.....	19
Biologiska faktorer	19
Kemiska faktorer.....	23
Fysikaliska faktorer.....	26
Att mäta fysikalisk markbördighet.....	32
MARKBÖRDIGHET OCH ODLINGSSYSTEMETS HÅLLBARHET	36
GRUNDFÖRBÄTTRANDE ÅTGÄRDER.....	37
Dränering	37
Strukturkalkning.....	38
Tillförsel av större mängder externt organiskt material	38
ODLINGSSYSTEMETS EFFEKTER PÅ MARKSTRUKTUREN	39
Rotmängd	39

Återförsel av organiskt material	43
Upptorkningens inverkan på strukturen	46
Andel bar ofrusen markyta	50
Markpackning och antalet överfarter på fältet	54
MARKSTRUKTURINDEX	60
Gårdens förutsättningar och odlingssystem.....	60
Hur modellen hanterar odlingssystemet.....	61
Grundförbättringsindex.....	66
Datormodellens redovisning av resultaten	66
Markstrukturtest i fält	67
UTVÄRDERING AV MARKSTRUKTURINDEX	74
Val av gårdar	74
Laboratorieanalyser	75
Wiggeby (stallgödsel/ej stallgödsel).....	76
Hacksta (frövall/ej frövall).....	79
Broby och Åbylund (Släpslangspridare/gödseltunna)	83
Västraby (3-radig/6-radig betupptagare).....	87
Kullsegård (lätt/styv jord).....	90
Par 2 (olika odlingssystems skördenivå).....	93
Par 3 (olika odlingssystems skördenivå).....	98
UTVÄRDERING AV FÄLTTESTER.....	103
Fälttesternas överensstämmelse med laboratorieanalyser och odlingssystem	103
Utvärdering av fälttesternas utformning och tillämpbarhet.....	106
Ambitionsnivåer vid utförande av fälttester	108

DISKUSSION.....	109
Parametrarna i odlingssystemindex.....	109
Förslag på förbättringar i databladens utformning.....	112
Avslutningsvis	114
SLUTORD	114
REFERENSER	115
BILAGOR	120
Bilaga 1. Modellens datablad. Exempel från Wiggebys odlingssystem	120
Bilaga 2. Sammanställning av gårdarnas odlingssystemresultat	129
Bilaga 3. Protokoll för markstrukturtest i fält.....	131
Bilaga 4. Axelbelastningar för traktorer	135
Bilaga 5. Resultat av mekanisk analys.....	136
Bilaga 6. Fälttester och laboratorieresultat.....	139
Bilaga 7. Hackstas odlingssystem	141
Bilaga 8. Brobys/Åbylunds odlingssystem.....	144
Bilaga 9. Västrabys odlingssystem	150
Bilaga 10. Kullsegårds odlingssystem	153
Bilaga 11. Par 2:s odlingssystem	158
Bilaga 12. Par 3:s odlingssystem	162

REFERAT

För att garantera trygg och säker livsmedelsförsörjning i framtiden är vi beroende av att ha uthålliga odlingssystem som bibehåller markens bördighet. Under senare år har markens fysikaliska tillstånd, som är av central betydelse för bördighetsbegreppet, försämrats i många avseenden. Orsaken till försämringen ligger framför allt i jordbrukets strukturrationaliseringar som bidragit till användning av större maskiner, mer specialiserade lantbruk, ensidigare växtodling etc. Med anledning av detta har det vuxit fram ett behov av att kunna mäta markens fysikaliska status.

Agr. dr. Kerstin Berglund och professor emeritus Waldemar Johansson vid Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, har tagit fram ett markstrukturindex. Det är ett sätt att bedöma odlingssystemens uthållighet och jordarnas fysikaliska status. Markstrukturindexet består av tre delar. En grundförbättringsdel där effekterna av olika långsiktiga engångsåtgärder bedöms, en odlingssystemdel där effekterna av brukarens årliga åtgärder värderas och ett enkelt markstrukturtest i fält.

Syftet med detta examensarbete har varit att utvärdera markstrukturindexet och dess olika delar. Utvärderingen av indexet har gjorts enligt två huvudprinciper. I det första fallet analyserades en enskild parameter när alla övriga förutsättningar var de samma. I det andra fallet analyserades effekten av två olika odlingssystem där många olika faktorer skiljer systemen åt. Här jämfördes två gårdar med till synes samma jordarts- och klimatskillnader men med olika skördenivå.

Generellt sett har indexet fungerat bra och visat på de skillnader som förväntades. Resultaten i indexet stämde också väl överens med resultaten från fält- och laboratorieanalyserna. Det visar att det går att få en indikation på hur odlingssystemet påverkar markens struktur utan att ta till tidskrävande och dyrbara prover och analyser. Indexet eller fälttesterna ger ingen exakt diagnos av markens fysikaliska status men en fingervisning om huruvida gårdens odlingssystem påverkar markstrukturen positivt eller negativt på lång sikt.

ABSTRACT

To guarantee safe and secure food production in the future we are dependent on farming systems which maintain good soil quality and fertility. The physical condition of our soils, which is an important parameter when discussing soil quality and fertility, has degenerated in the last decades. One of the main reasons for this degeneration is the development of Swedish agriculture which has lead to larger machines, more specialised units, less variation in crop rotations etc. This has lead to a growing need to be able to define and measure soil fertility and quality.

Researcher (PhD) Kerstin Berglund and professor emeritus Waldemar Johansson at the Department of Soil Science, Swedish University of Agriculture have developed a soil structure index. The index is a way to estimate the sustainability of farming systems and the physical status of the soils. The index consists of three different parts. One part evaluates long term effects of land improvement measures, one takes annual farming practises in consideration and the last part is a soil structure test applied in the field.

The purpose of this Master degree is to evaluate the soil structure index and its different parts. This evaluation of the index have been done according to two main principles. In the first part the influence of one distinct parameter on soil structure was evaluated. All other parameters remained the same. In the second part two different farming systems where several parameters differed were analysed and compared.

Results from the evaluation lead to the conclusion that the soil structure index works well. Index results also correlated well with field and laboratory results. This shows that it is possible to evaluate the effect different farming systems have on soil structure, without using expensive and time-consuming field and laboratory methods. Index and field-tests do not give an exact diagnosis on soils physical status but a hint on how the farming system will affect soil structure on a long term basis.

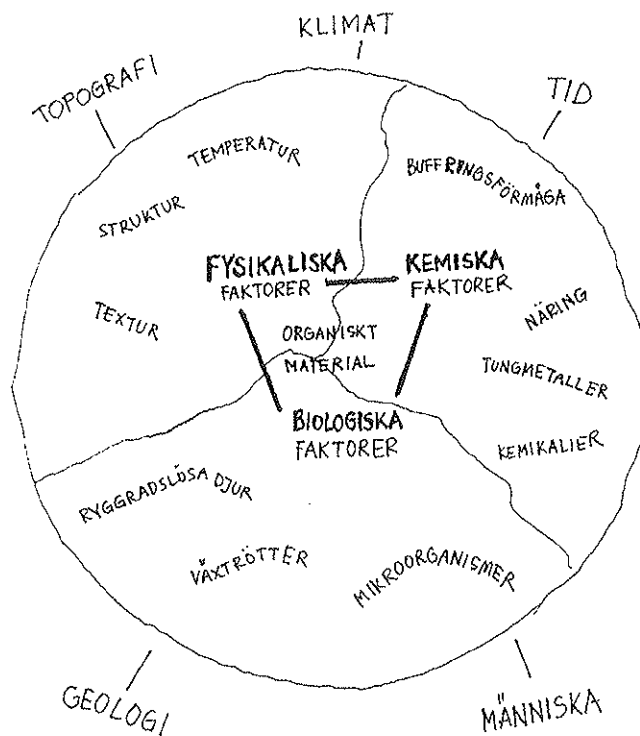
INLEDNING

Allvarliga markförsämringar konstateras på många håll i världen idag. Även i Sverige är försämringen av åkermarken ett problem. Den fysikaliska försämringen av odlingsmarken är i mångt och mycket orsakad av de senaste årtiondenas strukturrationaliseringar inom lantbruket. Dessa har ofta framtvungits av de lönsamhetsbekymmer många lantbruksföretag brottats med, vilka lett till stordrift och specialiserade växtodlingsgårdar i slättbygderna och djurgårdar i mellanbygderna. Detta har på stora arealer resulterat i minskad vallodling och stallgödselanvändning, ökade mekaniska påfrestningar vid bearbetning, skörd och transporter samt alltför schablonartade brukningsmetoder med allt för dålig anpassning till lokala förhållanden och följaktligen försämrade markstruktur (Rydberg & Håkansson, 1991). På en strukturskadad jord ökar dragkraftsbehovet, försämras växtnäringssutnyttjandet och konkurrensförmågan, minskar skördarna och växtnäringssläckaget ökar. Det är viktigt att bevara markens bördighet till kommande generationer. Detta innebär att ett långsiktigt tänkande är ett måste. De ovan nämnda effekterna av dagens odlingssystem överensstämmer inte med det som bör vara målet; att skapa uthållig, resurssnål och miljövänlig produktion.

En god och stabil struktur i marken är grunden för en väl fungerande odlingsjord. Det traditionella sättet att bedöma bördigheten hos en mark har fokuserats på växtnäringssituationen. Detta ger en något snedvriden bild av marken, där betydelsen av de markfysikaliska förhållandena kommit i skymundan. Vill man utveckla ett odlingssystem som är långsiktigt hållbart är markens fysikaliska status av central betydelse. I en jord med god struktur kan rötterna utvecklas fint och försörjningen av näring och vatten fungerar bra liksom luftutbytet i marken. Att endast åtgärda växtnäringssituationen rent kemiskt och inte markstrukturen är ofta detsamma som att åtgärda problemets konsekvenser, men inte dess orsak.

Att mäta och beskriva markbördighet

Att mäta bördighet är svårt eftersom marken är ett sådant komplext system av olika biologiska, kemiska och fysikaliska förhållanden (figur 1) som samverkar och varierar i det oändliga. En viktig del i att utvärdera hållbara odlingssystem är att definiera vad man menar med begreppet bördighet och vad det är som påverkar bördigheten. Att identifiera alla enskilda faktorer av betydelse för bördigheten och sätta siffror på dem är komplicerat. Ett alternativt angreppssätt är att titta på odlingssystemen i sin helhet och bedöma deras inverkan på åkermarkens långsiktiga produktionsförmåga.



Figur 1. Bördighetsfaktorer (efter Torstensson m.fl., 1998).

Markstrukturindexet

Agr. dr. Kerstin Berglund och professor emeritus Waldemar Johansson har utvecklat ett markstrukturindex, vilket är en metod att bedöma odlingssystemens uthållighet. Ett index är ett jämförelsetal. Man skapar ett index genom att sätta ett bestämt (bas)tal på en grundsituation. Sedan får andra situationer värden utifrån basalet, vilket gör att man kan bedöma hur de förhåller sig till detta och till varandra. I det fysikaliska markpåverkansindexet bedöms odlingssystemens uthållighet genom värdering och sammanvägning av hur olika odlarberoende faktorer påverkar markstrukturen och markens fysikaliska egenskaper långsiktigt. Indexet består av tre delar:

- Grundförbättring: bedömning av effekterna av långsiktiga grundförbättrande åtgärder.
- Odlingssystem: bedömning av effekterna av brukarens årliga åtgärder.
- Markstrukturtest i fält: syftet är att följa markstrukturens utveckling och öka brukarens kunskap om sin jord.

Indexet kan användas av lantbrukaren eller rådgivaren för att värdera och förutsäga olika odlarberoende faktorerers effekter på marken samt för att bedöma om odlingssystemet är uthålligt ur marksynpunkt. Dessutom kan man avgöra vilka delar av odlingssystemen som bör, eller kan, förbättras och vilken effekt ett ändrat system skulle få på marken.

Vårt examensarbete

Syftet med vårt gemensamma examensarbete var att utvärdera den prototyp av det fysikaliska markpåverkansindexet som Berglund och Johansson utvecklat. Vi har dels gjort en litteraturstudie och dels har vi prövat indexet på nio gårdar. På fyra gårdar har vi utvärderat enskilda grödor/bearbetningar, på en gård har vi tittat på jordartens betydelse och på fyra gårdar har vi utvärderat hela odlingssystemet.

I det fortsatta arbetet kommer vi att referera till indexet som *markstrukturindex* i stället för det mer beskrivande *fysikaliskt markpåverkansindex*.

BÖRDIGHETSBEGREPPET

En bördig jord är grundförutsättningen för livsmedelsproduktion. Innebörden av begreppet markbördighet måste definieras för att diskussioner och utvärderingar av dagens produktionssystem, och av hur dessa påverkar bördigheten ur ett långsiktigt perspektiv, ska kunna ske (Karlen & Scott, 1994). På grund av ökad markförstöring, orsakad av förändringar i markens fysikaliska, kemiska och biologiska egenskaper samt kontamination av kemikalier (både organiska och oorganiska), finns ett växande behov av att kunna beskriva vad bördighet egentligen är (Arshad & Coen, 1992).

Enligt Karlen och medarbetare (1997) finns det hos markforskarna vitt skilda åsikter i denna fråga. Vissa anser kvantifiering av markbördighet onödig och överflödigt, då "alla" vet vad som kännetecknar en bra jord och var man finner sådan jordar. Andra anser det vara omöjligt p.g.a. den stora variationen mellan jordarna. Det finns många "naturliga skillnader" mellan jordar vilka klassificeras som lika men som är belägna på olika platser. En del anser att bördighet endast handlar om hur stor skörd som erhålls, medan andra betonar hur jorden påverkar foder och livsmedel eller lägger tonvikten på hur marklivet påverkas.

Att mäta markbördighet är komplicerat. Det finns ingen enskild parameter i marksystemet som man kan säga är den direkta orsaken till att en jord är bördig eller inte. Marken är ett komplext ekosystem i vilket en mängd olika biologiska, kemiska och fysikaliska faktorer samverkar. På varje bördighetsfaktor inverkar flera andra, och de enskilda delarnas betydelse måste uppskattas. Mätningar i laboratorier illustrerar bara en del av verkligheten och i fält påverkas bördigheten av årsmånen och förhållandena vid mättillfället. Marken är aldrig exakt likadan på två platser. Att mäta markbördighet innebär att identifiera alla parametrar, rangordna deras betydelse och förstå deras samverkan. Dessutom kan inte alla faktorer mätas, vissa grundar sig på en "känsla".

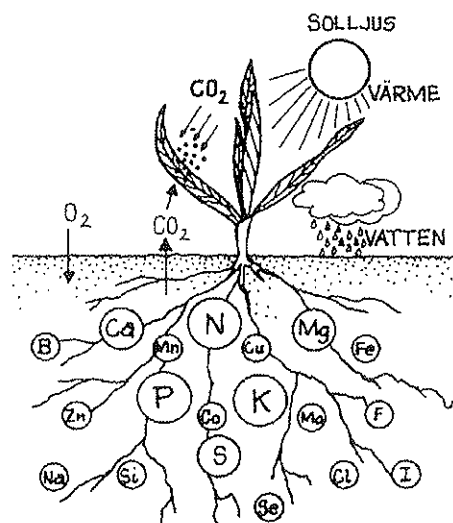
Växtens grundbehov

Alla resonemang om åkerns bördighet utgår från marken som växtplats för grödan (figur 2).

Växter behöver:

- ljus (ger energi) och värme
- luft (koldioxid för fotosyntes, syre för markandning)
- vatten (för fotosyntes och ämnestransport), samt
- mineralnäringsämnen
- förankring

(Campbell, 1996)



Figur 2. Växtens grundbehov (Weidow, 1998).

Att odla en gröda utan tillgång till det naturliga marksystemet (t.ex. på näringsfattig torv i ett växthus) går alldeles utmärkt om man tillfredsställer de ovan nämnda behoven och inte utsätter grödan för stress i form av t.ex. giftiga ämnen/koncentrationer, konkurrens och angrepp av växtskadegörare.

På åkern är matjorden grundförutsättningen för bördigheten. Den erbjuder växtrötterna möjlighet till förankring och utbredning, förser dem med en balanserad blandning av växt-näringsämnen, förvarar och avger fukt samt sörjer för god luftväxling i marken. Den utgör en miljö för komplexa system av mikroorganismer som bryter ned organiskt material, cirkulerar växtnäring och skyddar växterna från sjukdomar och skadedjur. Alla dessa faktorer är viktiga för att bibehålla god markstruktur, fruktbarhet och produktivitet hos åkermarken, egenskaper som enligt många beskriver en sund jord (Parr m.fl., 1992). Även alven har betydelse för bördigheten, vilket uppmärksammas mer och mer (Persson & Otabbong, 1994).

Kvantitativ eller kvalitativ bedömning av bördigheten

Det finns två huvudlinjer i hur begreppet bördighet kan bedömas. Den ena betonar *kvantifiering* av markens egenskaper och föredras ofta av forskare som söker mätbara faktorer. Den andra är en mer subjektiv bedömning av markens *kvalitet*, dess tillstånd eller hälsa (hur den känns, luktar, ser ut, etc.) och hur den uppträder som system för hållbar växtproduktion. Man betonar att marken är ett ekosystem som ska vara i balans och husera en mängd markorganismer, och har egenskaper som lättare beskrivs i ord än i siffror. Det kvalitativa synsättet menar man föredras av brukaren (Harris & Bezdicek, 1994; Doran m.fl., 1999).

Idag förespråkas allt oftare ett *integrerat* synsätt, anhängare till detta är bl.a. Arshad och Coen (1992), Harris och Bezdicek (1994) samt Doran och medarbetare, (1999). Det motiveras med att man vid markvärdering bör få med så många aspekter som möjligt. Kennedy & Papendick (1995) påpekar att kommunikationen med jordbrukarna gynnas av att man använder mer beskrivande värderingstermer, men betonar även betydelsen av att man identifierar alla delkomponenter bördigheten utgörs av och analyserar dessa kvantitativt. Det senare för att man på ett tidigt stadium ska kunna identifiera processer som förstör eller bibehåller/förbättrar marken och dess bördighet, redan innan de kan uppfattas med syn, lukt och känsel.

Aspekter på bördighet

Bördigheten har ett övergripande syfte: produktion av föda. Karlen och medarbetare (1992) uttrycker det så här: "*Bördighet kan definieras som markens förmåga att passa som naturligt medium för de växter som uppehåller människo- och djurliv*". Bördighetsbegreppet har på senare tid vidgats från att i princip ha varit likställt med produktivitet, till att innefatta aspekter såsom livsmedelssäkerhet och människo- och djurhälsa, noterar Parr och medarbetare (1992).

Långsiktig produktionsförmåga

Jansson (1972) menar att "*en bördig odlingsmark skall enligt vedertagen uppfattning vara i stånd att ge hög avkastning*". Han påpekar att man i tidigare markvärderingssystem betraktat

bördigheten som en statisk egenskap, vilket han anser föråldrat. Den bör knytas till de ekologiska grundprinciperna för markens utnyttjande som produktionsmedel, ett långsiktigt perspektiv. Heinonen (1983) beskriver bördighet som *markens långsiktiga produktionsförmåga*, vilket sammanfattar den enklaste beskrivningen av begreppet. Steen (1992) menar att "*bördig är en jord som ger hög skörd och säkra skördar från år till år av för jorden ifråga lämpliga grödor*". Lämplighet för odling av olika grödor är en viktig aspekt på bördighet, då t.ex. en styvare jord lämpar sig för höstveten och en lättare för potatis och råg. Andersson (1966) uttrycker att den tillväxtfaktor som *i relation till grödans behov* är sämst tillgodosedd begränsar avkastningen, vilket han anser att bördighetsbegreppet och markvärderingen bör anknytas till. Skördens storlek påverkas även av kortsiktiga odlingsåtgärder såsom bearbetning, sådd, kvävegödsling, ogräsbekämpning etc., vilka ej brukar inbegripas i markbördighetsbegreppet. Avsikten med sådana åtgärder är vanligtvis inte att åstadkomma långsiktiga effekter. Om de upprepas har de dock positiv eller negativ inverkan på bördigheten i det långa loppet (Persson & Otabbong, 1994).

Markliv

Marklivet, i synnerhet mikroorganismerna, bör inta en central roll i bördighetsbegreppet, enligt Kennedy och Papendick (1995) samt Parr och medarbetare (1992). De hävdar att om en jord ska vara sund och lämplig för växtodling förutsätts det att den är full av aktiva mikroorganismer i god balans. Detta eftersom de kontrollerar många nyckelprocesser knutna till växtnäring, markstruktur och patogentryck. Marken bör ses som en levande organism som måste må bra för att fungera. En välmående jord är bördig (Doran m.fl., 1999).

Miljögifter och livsmedelskvalitet

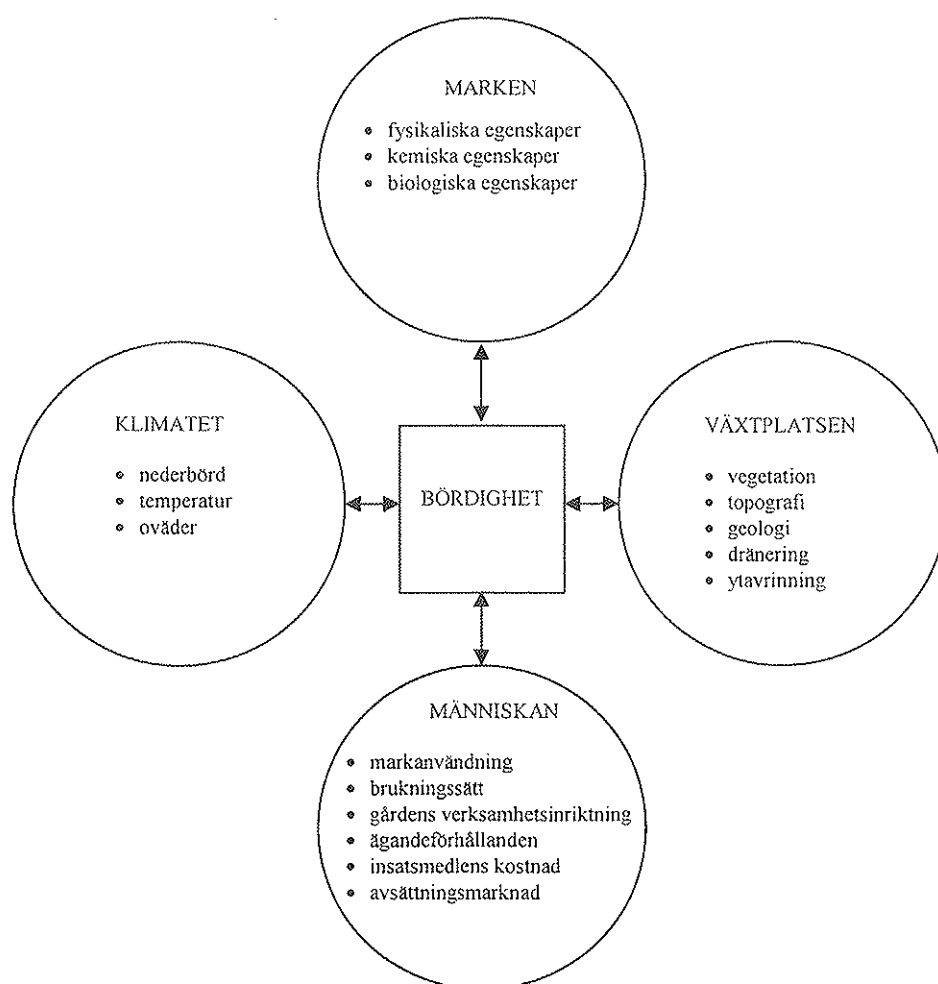
Persson och Otabbong (1994) anser att miljögifter bör inkluderas i begreppet bördighet eftersom de kan få allvarliga konsekvenser för markens kvalitet. Dels kan t.ex. markbiologiska processer påverkas, dels kan grödan ta upp gifter och tungmetaller som kan kontaminera skördeprodukterna. Detta är något som beaktas mer och mer. Hornick (1992) betonar betydelsen av kvaliteten hos skördeprodukterna. De ska vara näringsrika och säkra (inga toxiner, låg natriumhalt etc.) som födoämnen.

Brukningsegenskaper

Parr och medarbetare (1992) påpekar att förstörelse av matjord, med särskild betoning på vind- och vattenerosion, utgör ett stort hot mot bördigheten och bör tas med i bördighetsbegreppet. Till bördigheten hör också egenskaper såsom god naturlig dränering, stenfritt, lättbrukat matjordslager och god bärighet för fordon och maskiner (Steen, 1992). En bördig jord är elastisk, tålig, och återhämtar sig snabbt efter stress (våta, torka, markpackning etc.) (Papendick & Parr, 1992). Harris och Bezdicsek (1994) intervjuade lantbrukare om vad de uppfattade som kännetecken för en jord i god hälsa. Följande egenskaper nämndes: djupt matjordslager, lättplöjd (högre växel), fjädrande, håller mycket vatten, torkar upp snabbt, bryter ner växtrester snabbt, hög halt organiskt material, inte erosionskänslig, stort antal och många arter av daggmaskar, söt och frisk doft. Dessutom nämndes följd effekter såsom att växterna kräver mindre gödsel, ger högre skörd, har fler arter av ogräs, färre angrepp och är mer torktåliga, samt ger ett friskt och hälsosamt foder.

Övergripande definitioner av markbördighet

Arshad och Coen (1992) uttrycker bördighet som en jords hållbara förmåga att ta emot, hålla och återcirkulera vatten, mineraler och energi för optimal växtproduktion, medan en sund miljö bibehålls. De beskriver att nyckelegenskaper hos bördigheten dels är de fysikaliska, kemiska och biologiska faktorerna, dels klimat och markens grundförutsättningar. Övergripande inverkan har dock människan. Det är människors beslut som till sist avgör hållbarheten hos ett odlingssystem på en given jord (figur 3).



Figur 3. Faktorer som påverkar bördigheten (efter Arshad och Coen, 1992).

Eftersom marksystemet består av fysikaliska, kemiska och biologiska faktorer som samverkar och enskilda kvaliteter inte är avgörande för bördigheten, bör man anta ett holistiskt synsätt när man värderar markens bördighet, anser Doran och medarbetare (1999). Många har försökt formulera en allomfattande definition på bördighet. Papendick och Parr (1992) har föreslagit följande:

"Förmågan hos en jord att producera friska och näringsrika grödor på ett uthålligt sätt och reducera effekterna av stresspåverkan på plantan från dess omgivning samt förbättra människo- och djurhälsa, utan att nagga på naturresurser eller skada miljön."

Doran & Parkin (1994) har studerat många uppfattningar och sammanfört dessa i en liknande och ganska bred, men kärnfull definition, av bördighet som verkar ha accepterats av många (t.ex. Kennedy & Papendick, 1995; Warketin, 1995; Torstensson m.fl., 1998):

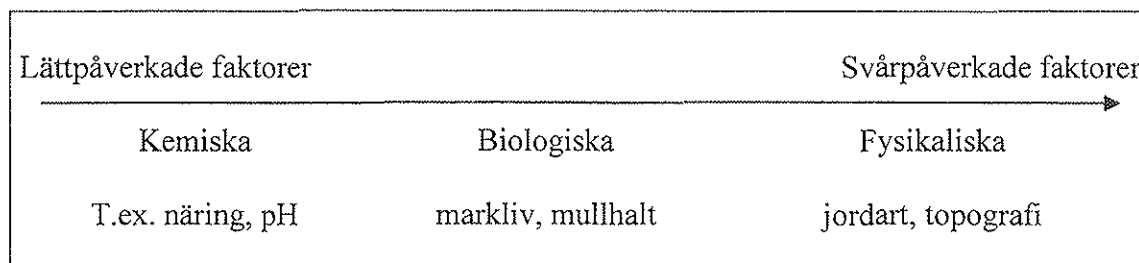
"Markens förmåga att fungera inom ekosystemets gränser i syfte att bibehålla biologisk produktivitet, uppehålla kvaliteten hos miljön och gynna friska grödor och djurhälsa."

Sammanfattningsvis kan man säga att bördighetsbegreppet står på tre ben. Bördig mark har följande egenskaper:

- Den är produktiv, ger hög och jämn avkastning.
- Den ger god kvalitet på det som odlas, god människo- och djurhälsa
- Den är ett system som är hållbart ur miljö/naturresurssynpunkt.

Påverkbara och opåverkbara faktorer

En del av markens tillväxtfaktorer är lättreglerade andra svårare att påverka, vilket har avgörande betydelse för vår bedömning av bördigheten. Möjligheten att genom odlingen påverka bördigheten avtar, då man går från de kemiska och biologiska till de fysikaliska markfaktorerna (Jansson, 1972). Persson och Otabbong (1994) räknar till de *påverkbara* faktorerna sådant som pH, mullhalt, fosfortillstånd, etc. vilka lantbrukaren långsiktigt kan påverka genom odlingsåtgärder, och till de närmast *opåverkbara* exempelvis jordlagrets mäktighet, mineralsammansättning, kornstorleksfördelning, topografiska belägenhet etc.(figur 4).



Figur 4. Påverkbarhet hos bördighetsfaktorerna (efter Persson & Otabbong, 1994).

Gränsen mellan dessa begrepp förändras med tiden. Jansson (1972) påpekar att förr var en mark med naturligt hög halt av växtnäring bördig och en näringsfattig förblev obrukbar. Tekniska framsteg, såsom möjligheten att kalka och fosforgödsla, medför att vi kan förändra

faktorererna i positiv riktning och därmed öka markens bördighet (Persson & Otabbong, 1994). Markvattnet utgör en faktor, som kan avgöra bördigheten, men också bli föremål för ingrepp i förbättringssyfte. Torrläggning och dränering å ena sidan, bevattning å den andra är ofta nödvändiga för att säkra avkastningen. Om dessa är förenade med oöverstigliga svårigheter är de avgörande för bördigheten (Jansson, 1972).

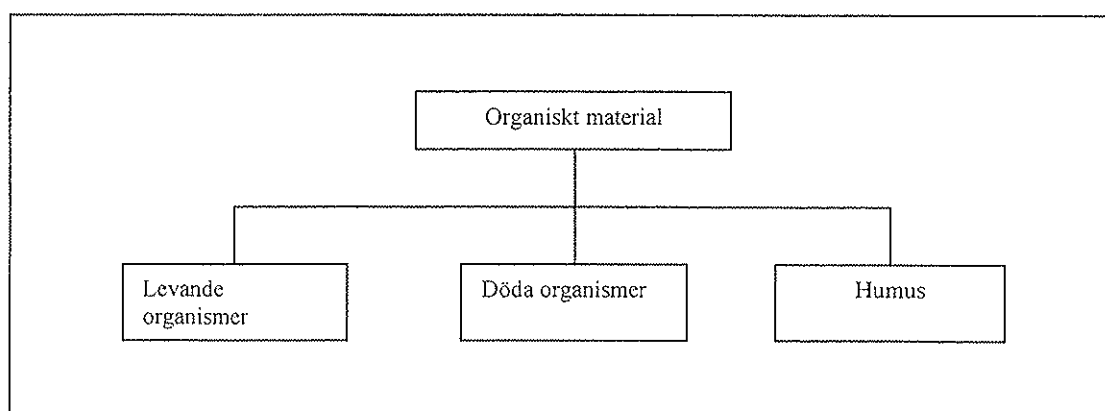
Aktuell och potentiell bördighet

Den *aktuella bördigheten* är den avkastningsförmåga, som jorden uppvisar under rådande brukningsförhållanden, d.v.s. med hänsyn till gjorda insatser av dikning, kalkning, gödsling etc. och växtföljd. Den *potentiella bördigheten* är den avkastningsförmåga en jord kan tänkas få när alla påverkbara faktorer optimerats (Andersson, 1966).

Jansson (1972) hävdar att i bördighetsbegreppet ligger sedan gammalt undermeningen att god avkastningsförmåga skall vara en ursprunglig och inbyggd egenskap hos marken, den ska ha utformats av naturen, inte genom våra odlingsåtgärder. Detta kan liknas vid vad Wiklander (1976) beskriver som den *naturliga bördigheten*: markens förmåga att frigöra näringsämnen genom jordmånsprocesser som vittring, förmultning och nitrifikation, dvs. markens förmåga att leverera näringsämnen under en längre tidsrymd. Doran och Parkin (1994) anser att man vid markvärdering av nutidens intensiva jordbrukssystem inte ska se till den naturliga bördigheten, utan bör utgå från de förutsättningar som maximerar jordens produktivitet och uppträdande i miljön, d.v.s. den potentiella bördigheten ur ett hållbart perspektiv.

Biologiska faktorer

Det organiska materialet och de makro- och mikroorganismer som lever i och av det har central betydelse för bördigheten. För att bibehålla markens bördighet, eller återställa en jord som minskat i bördighet, bör stor vikt läggas vid denna del (Parr m.fl., 1992). Det organiska materialet är av central betydelse för de markbiologiska processerna och därmed även för de biologiska bördighetsfaktorerna. Det består av levande växter och djur, mer eller mindre nedbrutna växt och djurrester, samt organiska föreningar som bildas (bildats) av dem (figur 5) (Brady & Weil, 1996). Den organiska substansen finns framför allt i matjorden, varför de markbiologiska reaktionerna främst pågår där.



Figur 5. Huvudbeståndsdelarna i markens organiska material (efter Brady & Weil, 1996).

Många av markens fysikaliska, kemiska och biologiska faktorer är tätt förknippade med mullhalten (Parr m.fl., 1992). Den ökar jordens aggregering, infiltration och vattenhållande förmåga, näringsinnehåll, buffertkapacitet och markorganismernas aktivitet (Arshad & Coen, 1992). Dessutom minskar en hög mullhalt risken för angrepp av skadegörare och sjukdomar (Backlin, 1998). Humusfraktionen utgör den största delen av den organiska substansen i marken (ca 90%). För växtnäringens del är det biologiska systemet främst av betydelse för kväve, fosfor och svavel, eftersom förråden av dessa ämnen finns i organisk form. Även för mikronäringsämnen spelar det roll, då de ofta förekommer som organiska komplex lösta i markvätskan.

Mullkvalitet

Det organiska materialet i marken kan indelas i tre fraktioner: lätt nedbrytbart, halvstabil (bryts ner på några decennier) och stabilt (omsättningstiden är flera sekler). Den första fraktionen är snarare en växtföljdseffekt än en bördighetsfaktor. De två sista brukar hänföras till begreppet humus (Persson & Otabbong, 1994).

Mullråämnets kvalitet har avgörande betydelse för humusbildningen. Hur mycket humus som bildas är beroende av hur nedbrutet materialet är. Halmtilförsel har positiv effekt på halten organiskt kol och kväve i marken. Stallgödsel resulterar i högre halt organiskt kol än halm och grön gödsel. Växtföljden har stor betydelse för mullbalansen, vallar (i synnerhet långvariga) är gynnsamma. Mullhalten minskar vid intensiv bearbetning, eftersom syretillgången i marken då ökar vilket gynnar humusnedbrytningen (Persson & Otabbong, 1994). För att karaktärisera mullsubstansen används ofta kol/kväve-kvoten. I odlade jordar, där omsättningen gynnas, brukar den stabiliseras kring 10. I organogena är den högre.

Mineralisering (frigörelse) och immobilisering (fastläggning) av kväve pågår hela tiden i marken. Vilken process som dominerar beror på kvaliteten på det organiska materialet. Kvävefattiga skörderester (t.ex. halm) leder till nettoimmobilisering, och kväverika (t.ex. baljväxter) till nettomineralisering. Effekter vid tillsats av färska, lätt omsättbara skörderester är dock kortsiktiga förfruktseffekter och kan egentligen inte sägas påverka bördigheten. Det gör däremot de mer långsiktiga växtföljdseffekterna, vilka är intimt förknippade med den halvstabila humusfraktionen som bryts ner långsamt under det att kvävemineralisering sker (den stabila humusen är mycket svårnedbrytbar) (Persson & Otabbong, 1994). Nitrifikationen är känslig för störningar och kan därför vara en mätbar indikator på markens kvalitet (Visser & Parkinson, 1992). Hur snabbt organiskt material bryts ner påverkar bördigheten. Processen beror på materialets fysikaliska och kemiska egenskaper, klimat (temperatur, fukt) samt slag och mängd av mikroorganismer och markfauna.

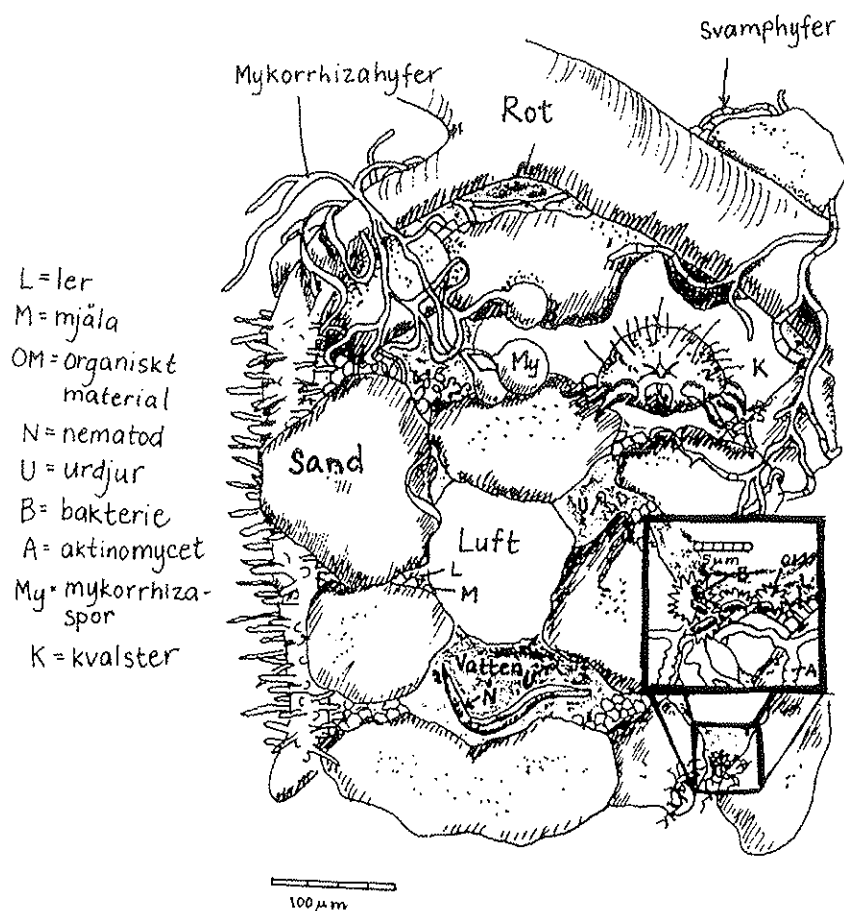
Mikroorganismer

Mikroorganismerna är avgörande för att skapa och bibehålla en god markstruktur, t.ex. genom luftning, humusbildning och aggregatbildning. Markens textur i kombination med variation i struktur och fukthalt kan drastiskt påverka tillgången på markluft vilket i sin tur inverkar på fördelningen av mikroorganismer samt orsakar fysiska hinder för de markdjur som lever av dessa (Torstensson m.fl., 1998). De viktigaste grupperna bland mikroorganismerna är svampar och bakterier. Mikrobaktiviteten är starkt beroende av tillgången på energi, dvs.

organiskt material, dessutom är temperatur, fuktighet, näringstillgång, pH-värde och jordart av betydelse (figur 6).

Mikroorganismerna är mycket betydelsefulla då de har följande positiva funktioner (Kennedy & Papendick, 1995):

- De bryter ner organiskt material, vilket leder till humussyntes och mineralisering av kväve, fosfor och svavel.
- De påverkar mängden tillgänglig växtnäring genom mycorrhiza i symbios med växt-rötterna, produktion av organiska kelat, redoxreaktioner, inverkar på fosfors löslighet samt att vissa mikroorganismer utför biologisk kvävefixering.
- De gynnar grödans tillväxt. Detta genom att de utsöndrar tillväxtgynnande hormoner, utgör fysiskt skydd mot patogener, ökar växternas nyttjandegrad av växtnäring, samt medverkar till biologisk kontroll av skadegörare, ogräs och patogener.
- De bryter ner syntetiska organiska material, såsom pesticider och giftiga föreningar.
- De bidrar till ökad aggregering, då de utsöndrar föreningar som kletar ihop jordpartiklarna dessutom omger en del typer (filamentsvamp och aktinomyceter) själva jordpartiklarna.



Figur 6. Marken kan innehålla mineralpartiklar organiskt material, vatten, växrötter med rothår, och markorganismer. Trots att den avbildade ytan bara är 1 mm² kan förhållandena inom dess ramar variera från sura till basiska, blöta till torra, aerobiska till anaerobiska, reducerande till oxiderande, och näringsfattiga till näringsrika (efter Wollum, 1998).

Markdjur

Ryggradslösa smådjur betyder mycket för bördigheten. De påverkar den fysikaliska och kemiska markstrukturen samt hastigheten på markprocesserna och i vilken utsträckning dessa fortgår (Stork & Eggleton, 1992). Markdjurens aktiviteter stimulerar mikroorganismerna, som utför de flesta nedbrytningsprocesserna i marken. Markdjuren bidrar dels direkt genom att t.ex. producera koldioxid och avge mineralkväve, dels indirekt genom t.ex. luftning p.g.a. att de gräver, äter svampmycel och finfördelar blad (Torstensson m.fl., 1998).

Daggmaskar anses vara bland de mest betydelsefulla av markdjuren. Dels skapar deras framfart gångar för andra markdjur och vertikala makroporer som är viktiga för infiltration och luftutbytet i marken. Dels drar de ner växtmaterial i marken och finfördelar det, vilket gynnar mikrobaktiviteten. Följaktligen har mark som bearbetats av daggmask större porvolym, ökad vattenhållande kapacitet, mer vattenstabila aggregat och högre infiltrationshastighet, än jordar som inte bearbetats av dem eller endast har arter vid ytan (Stork & Eggleton, 1992). Dessutom har marken ökad tillgänglighet av kväve och fosfor och andra näringsämnen. Mycket daggmask är ofta ett tecken på ett rikt mikroliv. Minskad bearbetning gynnar daggmasken (Backlin, 1998).

Nematoder och *urdjur* är betydelsefulla för frigörelsen av näring, i synnerhet kväve och fosfor. De hindrar utvecklingen av vissa sjukdomsalstrande organismer i marken samt reglerar mängden och fördelningen av svampar och bakterier. Vissa arter orsakar växtsjukdomar (Ingham, 1998). *Tvestjärtar* äter svampar och bakterier och påverkar därigenom populationen av dessa, dessutom frigörs näringsämnen vid nedbrytningen. *Flugor* och *skalbaggar* är viktiga vid nedbrytningen av gödsel och växtmaterial (Stork & Eggleton, 1992).

Mängden markorganismer varierar i hög grad beroende på jordart, klimat odlingshistoria, pH, vattentillgång m.m. Markorganismerna behöver näring i form av organiskt material, varierad växtföljd, lagom fuktig jord, stabilt och neutralt pH-värde och syre (ej packningsskadad jord) (Persson & Otabong, 1994).

Växtrötter

Växtrötterna utsöndrar rotexudat som innehåller lättnedbrytbara föreningar av vilka många markorganismer lever. Vilka organismer som trivs beror på typen av växtlighet, och diversiteten ökar därför om växtföljden varierar (Torstensson m.fl., 1998). Ett rikt mikrobiell liv intill rötterna medför ökad tillgång på växtnäring etc. i växtens närhet. Rotexudaten kittar dessutom samman jordpartiklar till aggregat.

Rötterna främjar markstrukturen och aggregatbildningen på flera sätt. De torkar upp markprofilen, och hjälper på så vis den naturliga sprickbildningen. De luckrar marken, de spränger tätare skikt, bidrar med organisk substans och arbetar långt ner i alven (om de kan). I en bördig jord får grödan ett ordentligt rotsystem vilket ökar dess tillgång på näring, håller undan ogräs och hindrar erosion (Kennedy & Papendick, 1995).

Kemiska faktorer

Karlen och Scott (1994) har sammanfattat vilka markkemiska bördighetsfaktorer som är av störst vikt för bördigheten: pH, salthalt, CEC och organiskt material, samt områdesspecifika gifter såsom tungmetaller, toxiska organiska föreningar, nitrat och radioaktivitet. Doran och Parkin (1992) betonar ur växtnärings synpunkt total halt kol och kväve, mineraliserbart kväve (ammonium och nitrat), fosfor och kalium. Persson och Otabbong (1994) tar dessutom upp tillgången på mikronäringsämnen.

Näringsämnen

En förutsättning för att jorden ska vara bördig är att den kan förse växten med näring. I det markkemiska reaktionssystemet finns förråden av växtnäringsämnen i olika mineral, i utfällningar och i utbytbar form. Fastläggning och frigörelse av näringsämnen styrs av jämviktsreaktioner, vilka i sig styrs av koncentrationsförhållanden i markvätskan. Lösligheten varierar kraftigt mellan olika mineral. För de lättlösliga fraktionerna är utbytesreaktioner (Ca, Mg, K) samt utfällning/upplösning (P) av stor vikt (Persson & Otabbong, 1994).

En bördig jord måste kunna leverera tillräckligt med fosfor. Ämnet finns i både organisk och oorganisk form. Den senare är den viktigaste i våra mineraljordar. Uthålligheten hos fosforförrådet varierar på olika jordar, där de baltiska moränlerorna anses överlägsna. Förmågan att leverera baskatjoner såsom K, Mg och Ca, är också en viktig bördighetsparameter. Jordarten är avgörande både för att leverera kalium och för att binda det på kolloiderna. Lerjordarna är överlägsna, de är rika på kalium och har dessutom hög CEC (katjonbyteskapacitet) som gör att ämnet kan lagras i utbytbar form. Dessa jordar kan också fixera kalium (Persson & Otabbong, 1994).

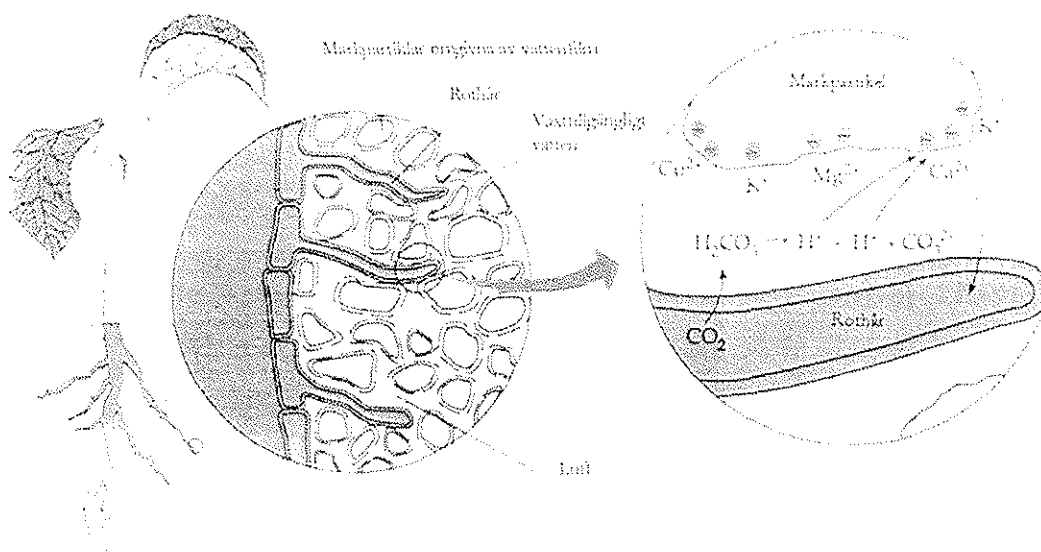
Tillgången på mikronäringsämnen är också en viktig bördighetsfaktor. De flesta som är lösta i markvätskan föreligger som organo-metall-komplex, kelater. Organisk substans ökar förmågan till sådan komplexbildning. Lätta jordar och mulljordar kan ha brist på koppar och bor. Många svenska jordar har brist på mangan p.g.a. att det förekommer i otillgänglig form (Persson & Otabbong, 1994).

Kolloidkomplexet och katjonbyteskapaciteten, CEC

Kolloidkomplexet består av lermineral och humuspartiklar. Det är basen för en mängd av markens biologiska, kemiska och fysikaliska egenskaper och därför viktigt för bördigheten. Kolloiderna utgör grunden för utbytesreaktionerna, vilka kontrollerar näringstillgängligheten i marken. Näring som tillförs marken i form av växtrester, gödsel, kalk etc. kan fångas in av kolloiderna, och på så sätt hindras från att utlakas. Joner som blir löst bundna på kolloidernas yta kan sedan, via utbytesreaktioner med markvätskan, tas upp av växten (figur 7). Kolloiderna gynnar aggregatbildningen genom att fungera som broar mellan större markpartiklar (Brady & Weil, 1996).

Kolloidkomplexet är ytterst litet och har en stor yta i förhållande till sin vikt. Ytan hos ett gram kolloidal lera är minst 1000 gånger större än den hos ett gram sand. Dessutom har vissa kolloider en stor inre yta. Kolloidernas ytor är i huvudsak negativt laddade och omsvärmas

därför av en mängd löst bundna positiva joner, så kallade katjoner (H^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+}). Även vattenmolekyler binds, då de attraheras av de adsorberade katjonerna samt binds till de inre ytorna. I förhållande till sin vikt har humuskolloiderna större närings- och vattenhållande kapacitet än lerkolloider, men leret förekommer oftast i större mängder varför det får större inverkan. Bördiga jordar har en god balans av båda humus och ler (Brady & Weil, 1996).



Figur 7. Utbytesreaktioner i marken (Campbell, 1996).

Katjonbyteskapacitet, CEC, är jordens förmåga att binda positiva joner i utbytbar form. Ju högre ler- och mullhalt, desto högre CEC (Persson & Otabbong, 1994). Kapaciteten är grundläggande för jordens förmåga att förse växterna med näring. Textur samt mängd och typ av lermineral och organiskt material är de faktorer som har störst inflytande över denna egenskap (Arshad & Coen, 1992).

Basmättnad och pH

Basmättnadsgraden påverkar näringstillgång och processer i marken, vilket gör den betydelsefull för bördigheten (Persson & Otabbong, 1994). Den uttrycker hur stor andel av CEC som neutraliserats av baskatjoner (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+). Resten utgörs av sura joner (H^+ , Al^{3+}). I åkermark eftersträvas en basmättnadsgrad runt 80%. En sur jord har låg basmättnadsgrad, vilket kan åtgärdas med kalkning. Då höjs denna och följaktligen även pH.

pH-värdet i marken har mycket stor betydelse för bördigheten, då det påverkar såväl kemiska som fysikaliska och biologiska markprocesser. Biologisk aktivitet, strukturbildning, näringsutnyttjande och vittring är några viktiga exempel. För högt pH kan leda till att mikronäringsämnen (i Sverige speciellt mangan) blir svårtillgängliga och fosfor fastläggs. För lågt pH gör att fosfor binds i svårlösta järn- och aluminiumfosfater, samt att vissa andra ämnen förekommer i giftiga koncentrationer (Mn, Al). Mulljordar är i regel surare än mineraljordar, men har trots detta ett gott näringstillstånd. Anledningen är att de innehåller stora mängder baskatjoner p.g.a. sitt höga CEC. Dessutom har de ett lägre innehåll av järn och aluminium, ämnen som även kan bindas till humus (Persson & Otabbong, 1994).

Växters tolerans för olika pH varierar stort, därför beror optimalt pH på odlingssystemet. Viktiga faktorer som påverkar pH är modernmaterial, alkaliska salter, dränering, vittring, gödselmedel, närhet till metaller och basmättnadsgrad (Arshad & Coen, 1992). Försurande är bortförsel av skördeprodukter (vilka har ett basöverskott) och användning av försurande gödselmedel (Al-haltiga), utlakning (ökar med ökat pH) och surt nedfall. Fördröjning av effekten sker eftersom kolloidsystemet är buffrande. Baskatjoner frigörs när sura joner byter ut dem. Karbonat och aluminiumhydroxid är andra buffrande system (Persson & Otabbong, 1994).

I en mulljord med svavelrik gyttja i alven kan det bildas en kemisk rotspärr. Vid dränering av dessa jordar (lufttillträde) oxideras svavlet till svavelsyra som sänker pH avsevärt och hindrar rötternas utveckling (Persson & Otabbong, 1994). Detta får mycket negativa följder för markens bördighet.

Kemisk vittring

Kemisk vittring är en långsam process som medför att hårdare bundna näringsämnen frigörs. Mineralen upplöses och gittret störtar samman. Processen motverkar delvis förurning p.g.a. att ett överskott av baskatjoner frigörs vilket höjer basmättnadsgraden. Vittringen är störst i lerjordar eftersom den specifika ytan är större än i grövre jordar. Jordarna i Sverige är ganska unga, och har inte vittrat särskilt mycket (Persson & Otabbong, 1994). Detta innebär att de fortfarande innehåller mycket näringsämnen och baskatjoner som kan frigöras. Om jordarna dessutom är lättvittrade så att frigörelse sker har de goda förutsättningar att vara bördiga.

Salter

Salt är strukturförsvagande, jorden faller sönder och slammar igen. Salter orsakar dispersion av markkolloiderna vilket beror på att envärda natriumjoner blir de dominerande utbytbara jonerna på kolloiderna. Dessa joner är stora eftersom de är starkt hydratiserade (omgivna av vattenmolekyler) och ökar därför avstånden mellan kolloidernas ytor vilket försvagar markstrukturen. I Sverige uppstår problemet främst vid kusterna där salta vinda blåser in över land, och vid bevattning med bräckt vatten.

Gifter

Detta är en bördighetsaspekt som blir allt mer aktuell. Tungmetaller, toxiska organiska föreningar, nitrat och radioaktiva ämnen kan tas upp av växterna, dessutom kan de inverka på markorganismernas mängd och sammansättning. Restsubstanser, radioaktiva ämnen och nitrathalt inverkar på livsmedelskvalitén.

Fysikaliska faktorer

Markfysiken grundar sig i läran om, och förståelsen för, markens beståndsdelar. De utgörs av fast material, vätska och luft. I den fasta delen ingår mineralpartiklar och organiskt material, denna del utgör ca 50 procent av markens totala volym i mineraljordar. Resten utgörs av hålrum som antingen kan vara fyllda med luft eller vatten beroende på yttre omständigheter (Hillel, 1982). För att en jord skall anses bördig måste beståndsdelarna vara i lagom proportion till varandra och bilda en god rotmiljö för grödan genom att förse den med vatten, tillåta rötterna att andas samt skapa god kontakt mellan fasta partiklar och rötter. Karlen och Scott (1994) har sammanfattat vilka markfysikaliska faktorer som kan anses vara av vikt för bördigheten. De tar bl.a. upp faktorer som växttillgängligt vatten i marken, infiltrationsförmåga, jordlagrets mäktighet, aggregatstabilitet, dispersionsbenägen lera och skrymdensitet.

Textur

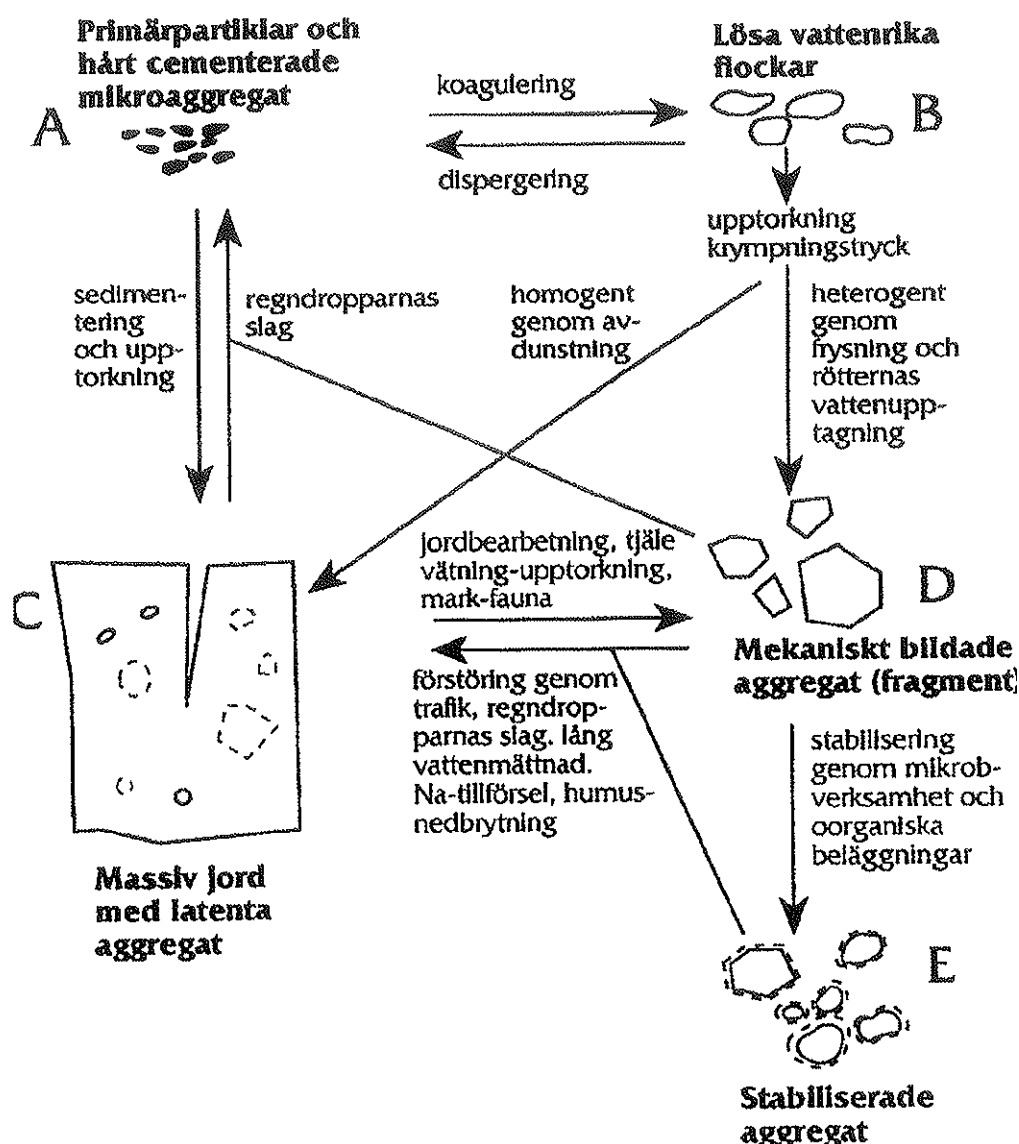
Med markens textur avses mineralpartiklarnas kornstorleksfördelning. Varje kornstorlek kategoriseras i Sverige efter Atterbergs korngruppsskala (tabell 1) vilken utvecklades i början av 1900-talet. Kornstorleksfördelningen är en av de mer grundläggande fysikaliska parametrarna som påverkar en rad olika faktorer i marken såsom fysikaliska, kemiska och biologiska. Lerfraktionen är den viktigaste korngruppen och denna har stark inverkan på markens fysikaliska beskaffenhet även om den endast utgör små andelar. Lerfraktionens betydelse avspeglar sig även i jordartsklassificeringen. Leret nämns i jordartsnamnet redan då det utgör 2 procentandelar och blir den viktigaste fraktionen vid 15 procentandelar (Ekström, 1927). Detta grundar sig i lerpartiklars kolloidala egenskaper (se kemiska faktorer). Mineralpartiklarna skiljer sig inte bara i storlek utan även genom att de kan bestå av olika mineraler. Sand, mo och mjäla består av primära mineraler såsom kvarts och kalifältspat medan lera i huvudsak består av sekundära mineraler såsom kaolinit, illit och vermikulit (Wiklander, 1976). Sekundära mineraler är en vittringsprodukt av primära mineraler. Texturen hör till de bördighetsfaktorer som inte är påverkbara genom odlingsåtgärder.

Tabell 1. Atterbergs korngruppsskala samt internationell benämning (Wiklander, 1976)

Huvudgrupp	Undergrupp	Internationell Beteckning	Kornstorlek (mm)
Block			>200
Sten	Större		200-60
	Mindre		60-20
Grus	Grovt		20-6
	Fint		6-2
Sand	Grovsand	}	2-0,6
	Mellansand		0,6-0,2
Mo	Grovmo	}	0,2-0,06
	Finmo		0,06-0,02
Mjäla	Grovmjäla	}	0,02-0,006
	Finmjäla		0,006-0,002
Ler	Grovler	}	0,002-0,0002
	Finler		<0,0002

Struktur

Mineralpartiklarna i marken tillsammans med det organiska materialet kan liknas vid de "byggnadsblock" som väggar och tak i ett hus består av, däremellan finns rummen som kan relateras till porerna i marken. På vilket sätt byggnadsblocken, alltså de fasta partiklarna, är arrangerade i marken kännetecknas av deras struktur (Brady och Weil, 1996). Partiklarna kan vara fristående från varandra som till exempel i sand- och mojordar och då säger man att de bildar enkelkornstruktur. Aggregatstruktur är dess motsats, de fasta partiklarna är ej längre fristående från varandra utan bildar sammanhängande aggregat (Wiklander, 1976). Det är framför allt korngrupperna mjåla och ler som har förmåga att binda sig till varandra. Även de grövre korngrupperna kan ingå i aggregat men endast om de finare fraktionerna och, eller organiskt material finns närvarande i tillräcklig mängd. Det är inte bara halten organiskt material och texturen som påverkar om aggregatstruktur infinner sig i marken utan även processer såsom jordbearbetning, upptorkning, uppfrysning, mikrobiell aktivitet etc. (figur 8).

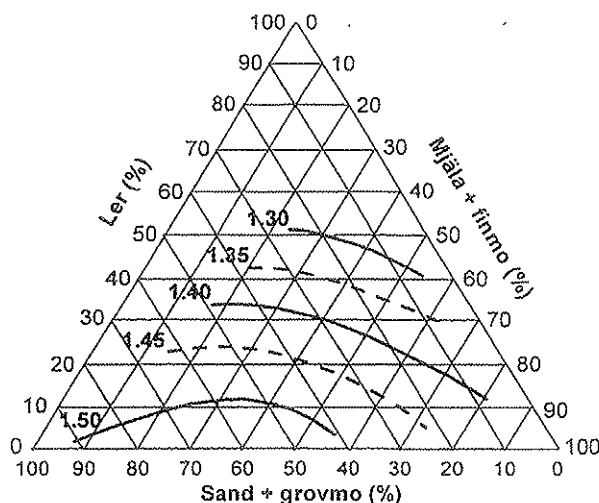


Figur 8. Strukturbildande processer i marken (Heinonen, 1985).

Aggregatens utseende och utformning har betydelse för hur marken kommer att bete sig när det gäller rotpenetrering, dräneringsförmåga, gasutbyte etc.. Strukturen anses massiv om hela jorden hänger samman utan några sprickor och kokig om den består av större aggregat som packats samman. Karakteristiska former på aggregat är bland annat prismatiska, kolumnära, granulära (se även tabell 11, fälttester) (Wiklander, 1976).

Ett sätt att åskådliggöra väggarnas och rummens förhållande till varandra, alltså de fasta partiklarna och porerna är att beräkna den så kallade torra skrymdensiteten. Torra skrymdensiteten beräknas genom att vikten av ett torkat jordprov divideras med dess volym, se ekvation nedan. Figur 9 visar några optimala skrymdensiteter för olika jordarter.

$$\text{Torra skrymdensitet} = \frac{\text{partiklarnas vikt}}{\text{total volym}}$$



Figur 9. Optimala skrymdensiteter hos våra jordarter (Håkansson, 2000)

Strukturen är känslig för yttre påverkan, särskilt hos jordar med svag aggregatstruktur. Generellt är strukturen bättre i icke bearbetade jordar då halten organiskt material är högre i dessa (låg mineralisering vid liten jordbearbetning) samt p.g.a. att dessa inte packas lika frekvent som jordar med ettåriga grödor (Persson och Otabbong, 1994). Packningens skador på strukturen medför bland annat att den torra skrymdensiteten ökar (porositeten minskar). Det är framför allt makroporernas volym som minskar (se avsnittet om porsystemet) vilket främst påverkar vertikala luft- och vattenrörelser. Dessutom får rötterna svårare att tränga fram vilket medför att jordvolymen som kan utnyttjas av grödan minskar. Som ett mått på packningens omfattning har man tagit fram benämningen packningsgrad. Packningsgraden är visar den procentuella skillnaden mellan skrymdensiteten i fält och efter att jorden packats med ett visst tryck (200 kPa) (Håkansson, 2000). Är jorden redan packad kommer skillnaden vara liten och värden nära 100 % infinner sig efter att jordprovet packats i laboratorium. En viss packningsgrad är att föredra då detta ökar kontakten mellan rötter och fasta partiklar. Det optimala värdet anses ligga runt 87 % för stråsådesgrödor (Håkansson, 2000).

Aggregatstabilitet

För att jorden skall kunna bibehålla sin struktur måste aggregaten vara någorlunda okänsliga för yttre påverkan vilket kännetecknas av deras stabilitet. Aggregatstabiliteten påverkas av en mängd faktorer dock spelar det organiska materialet en central roll. Större växtdelar såsom växtrester och rötter fungerar som en sorts armering i aggregaten och hindrar dem från att delas upp i mindre. Vid nedbrytning av färskt organiskt material utsöndrar mikroorganismerna (ofta bakterier) dels polysackarider samt andra metaboliska restprodukter som har klistrande effekt, vilket ytterligare bidrar till att öka stabiliteten hos aggregaten (Arshad och Coen, 1992). Även andra mikroorganismer som till exempel svampar stabiliserar speciellt små aggregat med hjälp av sitt mycel, medan mykorrhiza tenderar att stabilisera de större. Andelen ler är viktig och generellt gäller att högre lerhalt ger en stabilare aggregatstruktur.

Det är inte bara organiska föreningar som har förmågan att stabilisera aggregat utan även järnoxider, aluminiumoxider och karbonater. Kalciumjonerna är tvåvärt positiva och förmår binda ihop de negativt laddade lerkolloiderna. Detta är en anledning till att kalkning har en aggregatstabiliserande effekt.

Instabila aggregat medför att jorden blir känsligare för yttre påverkan och därmed blir skadorna värre vid regn och packning. Vid kraftiga regn och utan skyddande växttäckning kan instabila aggregat helt förstöras i övre markskiktet och istället bilda en lös sörja som vid torka stelnar och en kraftig skorpa uppstår. Om detta sker efter sådd kommer grodden att ha svårigheter att komma upp och bryta sig igenom skorpan med missväxt som följd.

Porsystemet

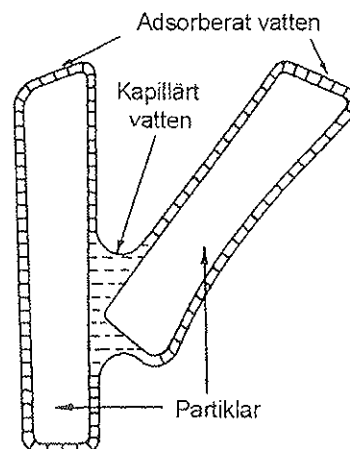
Porsystemet utgörs av hålrummen mellan de fasta partiklarna i marken. Det är alltså markens struktur och kornstorleksfördelning som bestämmer porsystemets utformning och omfattning. Porsystemet fungerar som en reservoar för markvattnet och luften vilket gör det till en viktig faktor rörande markens förmåga att förse växterna med vatten, tillåta rotandning och skapa ett bra klimat för organismerna i marken. Porsystemet bestämmer även markens infiltrationsförmåga, näringsämnens rörlighet och möjligheter för rötter att tränga ned i profilen (Wiklander, 1976). Porositeten, porvolymens andel av totala volymen, beräknas utifrån jordens torra skrymdensitet och dess kompaktdensitet (se ekvation nedan) (Håkansson, 2000).

$$Porositet = 100 - \left(\frac{\text{torr skrymdensitet}}{\text{kompaktdensitet}} * 100 \right)$$

Porositeten visar bara den totala volymen av porer i marken och inte deras storleksfördelning som är viktig för att man ska kunna dra slutsatser om markens egenskaper. Markens porer kan, med avseende på deras storlek, delas in i makro- respektive mikroporer. De porer där pordiametern är större än 0,06 mm kallas i allmänhet makroporer och de som är mindre än 0,06 mm för mikroporer (Brady och Weil, 1996). Makroporerna är viktigast med avseende på luftutbytet och markvattnets rörelser i vertikal led medan mikroporerna står för markens vattenhållande egenskaper.

Markens vattenhållande förmåga beror på att vattnet binds på tre olika sätt i marken; kapillärt, adsorbtivt och kemiskt. I figur 10 visas kapillärt och adsorbtivt bundet vatten.

Adsorbtivt bundet vatten är det vatten som binds direkt till de fasta partiklarna i jorden samt till hydratiserade joner. De fasta partiklarnas förmåga att binda vatten varierar med deras art och utformning. Humus och lerpartiklar tenderar att kunna binda stora mängder vatten, dels på grund av den stora mängden kolloider som ger mycket yta för vattnet att binda till dels deras hydrofila karaktär. Lermineralerna varierar dock sinsemellan och de kan antingen vara av hydrofil eller hydrofob karaktär (Hillel, 1982). Mängden adsorbtivt bundet vatten ökar med lerhalten och mängden organsikt material, hos grövre jordarter blir det näst intill obefintligt. Det adsorbtiva vattnet är mycket hårt bundet till partiklarna och därmed ej tillgängligt för växterna.



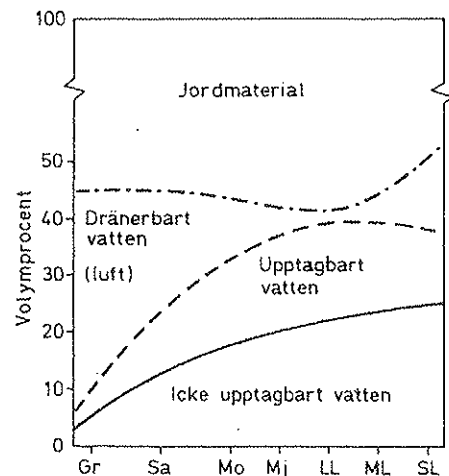
Figur 10. Två av vattnets bindningssätt i marken (efter Hillel, 1982).

Vattenmolekylernas dipolära karaktär (positivt och negativt laddade sidor) medför att de kan binda sig till varandra och till laddade ytor. Det är denna förmåga hos vattenmolekylerna som gör att de kan bindas kapillärt i marken (Brady och Weil, 1996). De kapillära krafterna gör att vatten hålls kvar i marken efter ett regn, samt för vattnet i marken att stiga kapillärt från grundvattenytan. Attraktionskrafterna mellan vattenmolekylerna är svaga och mängden vatten som kan vara kapillärt bundet i marken påverkas till stor del porsystemets uppbyggnad. Små porer har bättre uppsugningsförmåga än större då vattenfilmen minskar med pordiametern. Samtidigt minskar även vattnets stighastighet på grund av ökad friktion mot partiklarna (Wiklander, 1976). För växterna är det främst det kapillärt bundna vattnet som de kan utnyttja för sin vattenförsörjning.

Mineraler fungerar som byggnadselement i marken och är själva uppbyggda av molekyler och joner. Ibland ingår vatten som byggnadselement i mineraler genom att joner är hydratiserade, vilket innebär att de har vattenmolekyler bundna till sig. Vattnet som binds till jonerna är hårt bundet och otillgängligt för växterna. Det kallas för kemiskt bundet vatten. Denna del är relativt liten och påverkas i stor grad av mineralsammansättningen.

Av resonemanget ovan kan slutsatsen dras att det inte är mängden vatten i marken som avgör hur mycket som växterna kan tillgodogöra sig utan mer i vilken form det är bundet. Figur 11 illustrerar olika jordarters förmåga att binda vatten och i vilken form det är bundet. Icke upptagbart vatten i figuren representerar det adsorbtivt och kemiskt bundna vattnet och upptagbart det kapillärt bundna. Den streckade linjen mellan dränerbart och upptagbart vatten går även under benämningen markens fältkapacitet, alltså mängden vatten som finns kvar efter det att dränering har skett. Hur snabbt fältkapaciteten infinner sig beror på hur fort vattnet kan röra sig nedåt i profilen.

Vattnets flöde ned genom profilen kan ske under mättade och omättade förhållanden. Under mättade förhållanden är alla porer vattenfyllda och flödets hastighet bestäms till stor del av porernas storlek och utformning. Små porer ger långsammare flöde på grund av att friktionen mellan vattnet och partiklarna ökar. En marks förmåga att transportera vatten benämns med dess hydrauliska konduktivitet (Hillel, 1982). Det är framför allt gravitationen som är den drivande kraften vid mättade flöden. Vanligast förekommande är vattenflöden under omättade förhållanden då endast de finare porerna är vattenfyllda. Gravitationen är inte den huvudsakliga drivkraften längre utan det är de icke vattenfyllda porernas vilja att dra till sig vatten som till stor del påverkar kraftens storlek. Sugkraften är störst precis framför vattenfronten där endast en liten del av porerna är vattenfyllda. Bakom vattenfronten kommer vattnet endast att röra sig i de vattenfyllda porerna på grund av vattenmolekylernas attraktion till varandra (Brady & Weil, 1996). Vid mättade flöden är hydrauliska konduktiviteten högre hos jordarter med grövre textur. Under omättade förhållanden är den högre hos de med finare textur. Det senare beror på att en större andel av porerna vattenfyllda hos de fintexturerade än de grovtexturerade under omättade förhållanden.



Figur 11. Vattnets tillgänglighet hos olika jordarter (Wiklander, 1976).

Den tredje beståndsdel i markens system är luft. Liksom markvätskan befinner sig luften i markens porsystem, och konkurrerar därmed med vattnet om detta utrymme. För att växterna och markens organismer skall kunna växa och må bra behöver de en väl genomluftad jord där utbytet av gaser mellan atmosfären och marken tillräcklig. Detta beror dels på att de behöver syre för respirationen men även på att de avger koldioxid vid samma process. Koldioxiden kan bli toxisk i för höga koncentrationer vilket hämmar tillväxten och kan sluta med att växterna eller organismerna dör (Hillel, 1998). Gaserna transporteras i jorden genom två processer, massflöde och diffusion. Massflödet är av underordnad betydelse (ca 10%) men uppstår då vatten rör sig ned genom profilen efter ett regn och trycker undan luft eller genom upptorkning då luften sugas in i tidigare vattenfyllda porer (Brady och Weil, 1996). Diffusion är en process som styrs av koncentrationsgradienter mellan till exempel markens och atmosfärens gassammansättning. Gaserna rör sig från hög koncentration till lägre vilket medför att koldioxid går från marken ut i atmosfären och syre från atmosfären ned i marken, en process som ofta benämns markandning (Wiklander, 1976). Diffusionen sker både genom luft och vatten. Gaserna diffunderar dock betydligt snabbare i luft, vilket medför att luftutbytet är otillräckligt när marken innehåller för mycket vatten. Det är framför allt markens dräneringsförmåga som är avgörande när det gäller dess genomluftning (Persson och Ottobong, 1994). Dräneringsförmågan styrs till stor del av hur stor del av porvolymen som utgörs av makroporer. I figur 11 kan man se hur stor andel luftfyllda porer de olika kornstorlekarna har vid fältkapacitet.

Jordlagret

Jordlagrets mäktighet är en viktig fysikalisk faktor när det gäller beaktandet av markens bördighet. Ett otillräckligt jordlager innebär att grödans rötter endast har ett begränsat utrymme för sin rottillväxt. Detta medför att mängden växttillgängligt vatten minskar och andelen näringsämnen likaså. Det är inte bara jordlagrets mäktighet som styr hur djupt rötterna kan nå utan även om det förekommer några täta lager såsom plogsula eller texturella skillnader i profilen (Arshad och Coen, 1992). En alv med god struktur gör att rötterna kan gå ned djupt och därmed utnyttja en större volym med bättre möjligheter till vatten och näringsförsörjning.

Att mäta fysikalisk markbördighet

Som tidigare nämnts baseras markbördigheten på en mängd olika faktorer som samverkar i ett komplext system. Svårigheten att mäta markbördighet ligger i just dess komplexa natur (Håkansson & Johansson, 1992). Forskare har försökt att klassificera markens bördighet genom att ta hänsyn till och väva samman de biologiska, kemiska och fysikaliska faktorerna, men de har ännu inte lyckats fullt ut (Torstensson m.fl. 1998). Det är dessutom mycket tidsödande och kostsamt att ta alla de prover som behövs för att göra en heltäckande diagnos (Håkansson & Johansson, 1992). Istället har man försökt att koncentrera sig på en grupp i taget vilket resulterat i flertalet olika värderingar av markbördigheten. Hittills är det främst kemiska och biologiska faktorer som värderats, som exempel kan nämnas dagens omfattande markkartering. Vid beaktande enbart av kemiska och biologiska faktorer missar man viktiga fysikaliska faktorer vilka ger en god bild av markens textur och struktur och som i sin tur har en viktig del i platsens lämplighet som odlingsmark. Nedan ges några exempel på fält- och laboratoriemetoder som använts för att mäta fysikaliska faktorer som har inverkan på markens bördighet.

Profilstudie

Profilstudien innebär en visuell bedömning av markprofilen i fält, en mycket viktig metod om man vill skapa sig en grundläggande förståelse för sin jord. Studerandet av profilen innebär inte att man endast försöker att undersöka någon enskild fysikalisk parameter utan mer skapa sig en helhetssyn. I profilen kan man se matjordslagrets tjocklek, rötternas utbredning, om texturen förändras något ned i profilen, förtätande lager som till exempel plogsula, makroporernas omfattning, aggregatstruktur etc. Profilstudien ger endast en grov bild av markens fysikaliska tillstånd men skapar ändå en god grund att stå på för vidare undersökningar (Eriksson m.fl., 1974)

Texturanalys

Den så kallade hydrometermetoden är idag den vanligaste laboratoriemetoden för att få fram kornstorleksfördelningen i en jordfraktion. Vid analysen används jord uppslammad i vatten. Grövre partiklar såsom grus och sand tas bort från lösningen genom siktning medan de finare partiklarna får sedimentera. Sedimentationshastigheten beror av partiklarnas storlek där de grövsta sedimenterar snabbast. Sedimentationshastigheten mäts genom att man beräknar en hydrometers fallhastighet genom en suspension av jordprovet. Utifrån sedimentations-

hastigheten beräknas sedan fördelningen av partiklar. Metoden är relativt omfattande och tidskrävande samt fordrar viss specialutrustning vilket gör den dyr och svår att utföra i fält (Hansen, 1961).

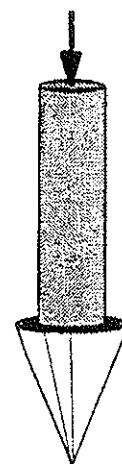
Atterberg har emellertid utvecklat en analysmetod som går att använda i fält där man bestämmer jordarten dels genom en okulär besiktning dels genom ett utrullningsprov. Genom att ett lagom stort jordprov fuktas fästes de finare partiklarna vid varandra och kan därefter rullas till olika tunna trådar beroende på hur stor andel ler jordprovet innehåller (Wiklander, 1976). Grövre jordarter med stort inslag av grus och sand kan inte rullas alls. Höga halter av humus stör dock utrullbarheten hos lerrika jordar vilket bidrar till att mätresultaten blir missvisande i dessa fall. Metoden är inte på långt när lika noggrann som hydrometermetoden men ger ofta (med viss erfarenhet) en god bild av lerfraktionens storlek, som är den fraktion som har störst inverkan på marken fysikaliska och kemiska faktorer (Wiklander, 1976). Ett annat sätt att uppskatta lerhalten är genom halten kalium i jorden. Hög lerhalt medför ofta hög kaliumhalt. Nästan varje gård har idag någon form av markkartering som visar kaliumhalterna i marken.

Aggregatstabilitet

“Emerson dispersion test” är en metod för att mäta aggregatstabiliteten. Testet innebär att man lägger de aggregat som man vill undersöka i en skål med vatten. När vattnet tränger in i aggregatet kommer luften att tryckas ut. Vid svag aggregatstruktur kommer nu makroaggregatet att splittras och falla sönder i mindre aggregat eller så kallade mikroaggregat. Grumligheten hos vätskan möjliggör en viss form av gradering på hur svag strukturen är vilket gör metoden än mer användbar (McGuinness, 1991). Svårigheten med det här testet är åter igen den subjektiva bedömningen av hur grumligt är vattnet och i så fall hur svag strukturen är. En skala skulle kunna utarbetas, men vid test av egna jordar är det skillnaden som är viktig och då skulle metoden duga mycket väl. Inne på laboratorier är det möjligt att gradera grumligheten genom att mäta genomsläppligheten för ljus. Metoden är säker men apparaturen som behövs är dyr.

Rotpenetreringsförmåga

Rötternas förmåga att penetrera och ta sig fram i en jordmassa påverkas till stor del av strukturen och texturen. Växternas rötter utnyttjar främst de större porerna för sin tillväxt men är även beroende av de små porerna för sin vatten och näringsförsörjning. Genom att utnyttja en så kallad penetrometer (figur 12) kan man få ett mått på hur stort motståndet är för växtrötterna i en viss jordprofil. Penetrometern mäter dock endast det vertikala rotmotståndet medan rötterna kan ta sig fram både i vertikal och horisontell riktning (Håkansson, 2000). Dessutom påverkas mätresultatet starkt av markens vattenhalt. Är förhållandena torra kommer värdena att bli mycket högre än vid fuktiga.



Figur 12. Schematisk bild av en penetrometer (Håkansson, 2000).

Porsystemet

Markvattnet befinner sig i de hålrum som bildas mellan de fasta partiklarna i marken. Porens storlek påverkas av markens textur och struktur. Porstorleksfördelningen påverkar i sin tur markens vattenhållande förmåga genom att små porer (mikroporer) klarar att binda vattnet mycket hårdare än större porer (meso/makroporer). Genom att ta fram en så kallad bindningskaraktäristiska (pF-kurva) kan man via markens vattenhållande egenskaper få en bild av dess porstorleksfördelning (Wiklander, 1976). pF-kurvan skapas genom att man utsätter jorden för ett successivt ökande undertryck vilket ger en allt lägre vattenhalt. Detta undertryck kan skapas med hjälp av en så kallad tryckkammare vilken kan utföra undertryck på uppåt 10000 kPa (Hillel, 1982). De stora krafterna behövs för att också kunna mäta det hårt bundna vattnet i mikroporerna. pF-kurvan konverteras sedan till en uppskattad porstorleksfördelning.

För att få en bild av markens rådande vattenpotential (hur hårt vattnet är bundet) i fält kan man använda en tensiometer. Tensiometern består av ett rör fyllt med vatten som sticks ned i jorden varpå det sitter en tryckmätare. Om nu marken ej är mättad med vatten (mättad potential = 0) kommer vattnet i tensiometern att röra sig utåt i marken (vatten rör sig från hög potential till lägre). När vattnet rör sig ut från röret kommer ett undertryck att bildas vilket visas på tryckmätaren. Rörelsen avstannar när undertrycket i tensiometern är lika med det undertryck som råder i marken. Tensiometerns användning är begränsad och den kan inte mäta undertryck lägre än -80 kPa (Brady och Weil 1996).

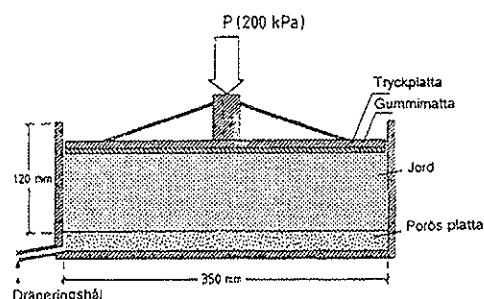
För att uppskatta porstorleksfördelningen i fält kan man först göra en profilstudie där man räknar antalet synliga porer (endast makroporer), såsom mask- och rotgångar (McGuinness, 1991).

Infiltrationsförmåga

De stora porerna står till stor del för den gas- och vattentransport som sker i marken. Finns det gott om makroporer är infiltrationsförmågan i marken i allmänhet god (Håkansson, 2000). Detta gäller främst för fintexturerade jordar vilka ofta har både makro- och mikroporer. Jordar med enkelkornstruktur har ofta en hög infiltrationsförmåga men andelen makroporer kan anses ringa (Wiklander, 1976). Genomsläppligheten för vatten hos en jord kan mätas i laboratorier genom att man tar ut cylindrar med jord i ostörd lagring som sedan vattenmätas. Genomsläpplighet bestäms genom att man mäter mängden vatten som genomströmmar cylindern per tidsenhet. Metoden kräver specialutrustning och är mycket arbetskrävande. I fält används ofta ramar för att mäta infiltrationshastigheten. Ramarna trycks ned i marken varefter man håller på vatten. Vattennivån mäts vid olika tidpunkter för att få ett medeltal på infiltrationshastigheten. Metoden är enkel och utrustningen som krävs finns i stort sett i varje hem. Den är kanske inte lika exakt som laboratiemätningar men visar på ett bra sätt markens infiltrationsförmåga.

Packningsgrad

För att uppskatta packningsgraden behöver man som tidigare nämnts jordens torra skrymdensitet före samt efter den i laboratorium utförda packningen. Jordens torra skrymdensitet fås fram genom att man tar ut ett jordprov med en så kallad provcylinder med känd volym och vikt. Efter att jordcylindern torkat kan den torra skrymdensiteten beräknas genom att man dividerar dess vikt med volymen. Provet placeras därefter i en så kallad ödometer (figur 13). I ödometern packas jorden med ett tryck som uppgår till 200 kPa. Återigen beräknas den torra skrymdensiteten för provet. Genom att dividera de två erhållna skrymdensiteterna kan man få ett värde som anger jordens packningsgrad i procent (Håkansson, 2000).



Figur 13. Schematisk bild av en ödometer för standardpackning. (Håkansson, 2000).

Mullhalt

Det finns ett flertal olika metoder att mäta mullhalten. En av de vanligaste och enklaste metoderna i laboratoriesammanhang är glödgning förlust. Metoden går ut på att man hettar upp ett torrt jordprov så mycket att allt organiskt material oxideras till CO_2 och vatten. Viktminskningen är ett mått på halten organiskt material. Metoden är ej rättvisande för lerjordar som innehåller mycket kemiskt- och adsorbtivt bundet vatten vilket avgår vid glödgningen. Det har dock utarbetats en korrektionstabell som möjliggör användning av metoden även på lerjordar (Ekström, 1927).

Det finns även en visuell bedömning för att uppskatta mullhalten ute i fält. Bedömningen görs utifrån hur mörk jorden är. Är jorden mörkfärgad är detta en indikation på att halten organiskt material är hög. Metoden kräver viss erfarenhet. Färgen förändras med vattenhalten och grovkorniga jordar har en mörkare färg än finkorniga vid samma mullhalt (Ekström, 1927).

Vad är det man mäter, aktuell eller potentiell bördighet?

Potentiell bördighet är som nämnts tidigare den bördighet som en jord kan uppnå då alla påverkbara faktorer befinner sig i optimum. Detta innebär att när man mäter de faktorer som är svåra eller omöjliga att påverka som till exempel textur, kommer man att mäta markens potentiella bördigheten eftersom man inte kan förbättra denna faktor. Om man däremot mäter sådana faktorer som man kan påverka genom långsiktiga odlingsåtgärder, såsom mullhalt och packningsgrad, kommer man att mäta den aktuella bördigheten om faktorerna ligger utanför den aktuella grödans optimum.

Vad vill man mäta, aktuell eller potentiell bördighet?

Först och främst vill man mäta den inneboende potentiella bördigheten hos den jord där man avser att förbättra sitt odlingssystem. Detta för att kunna ha ett mål att sträva emot när man bygger upp markens bördighet. Den aktuella bördigheten berättar sedan mer om var i systemet man ligger och hur långt man har kvar tills man når markens potentiella bördighet.

Den potentiella bördigheten hos en viss typ av jord kan troligen jämföras med väl-dränerade marker som legat som bete under mycket lång tid. Packningen kan anses minimal, mullhalten har stabiliserat sig på en hög nivå, god aggregatstruktur, hög mikrobiell aktivitet, hög biodiversitet etc. Här torde de påverkbara faktorerna vara i ett optimum, vilket störs direkt vid uppodling.

Den aktuella bördigheten varierar med årsmånen och var i växtföljden man mäter. Detta gör det svårt att hitta en lämplig tidpunkt vid vilken man kan mäta och jämföra resultat.

MARKBÖRDIGHET OCH ODLINGSSYSTEMETS HÅLLBARHET

Eftersom marken utgör ett så komplext system av fysikaliska, kemiska och biologiska betingelser som varierar i det oändliga kan det, som tidigare nämnts, vara både svårt och tidsödande att kvantitativt mäta markstrukturen och de faktorer som inverkar på den. Man kan istället försöka bedöma hur odlingssystemet påverkar markstrukturen. Detta är det angreppssätt vilket Agr. dr. Kerstin Berglund och professor emeritus Waldemar Johansson valt att använda då de utvecklat det "fysikaliska markpåverkansindex", eller markstrukturindex, som utvärderas i detta examensarbete. Indexet är uppbyggt kring tre delar:

Markstrukturtest i fält	jordart markstruktur och förtätade zoner rotsystemet porositet och maskförekomst markens vattenledande egenskaper
Grundförbättringsindex	dränering strukturkalkning externt organiskt material
Odlingssystemindex	rotmängd upptorkning återförsel av organiskt material andel bar ofrusen mark antal överfarter markbelastningar

I det följande avsnittet presenteras de vanligaste grundförbättrande åtgärderna översiktligt. Det är den del av indexet som ännu inte utvecklats. Därefter görs en fördjupning i de sex parametrar man valt att ingå i odlingssystemindex, de tre första anses vara positiva för markstrukturen (rotmängd, upptorkning och externt organiskt material) de tre sista anses vara negativa för den (bar mark, överfarter och markbelastningar). Markstrukturtestet i fält kompletterar de ovannämnda delarna men behandlas längre fram i rapporten.

GRUNDFÖRBÄTTRANDE ÅTGÄRDER

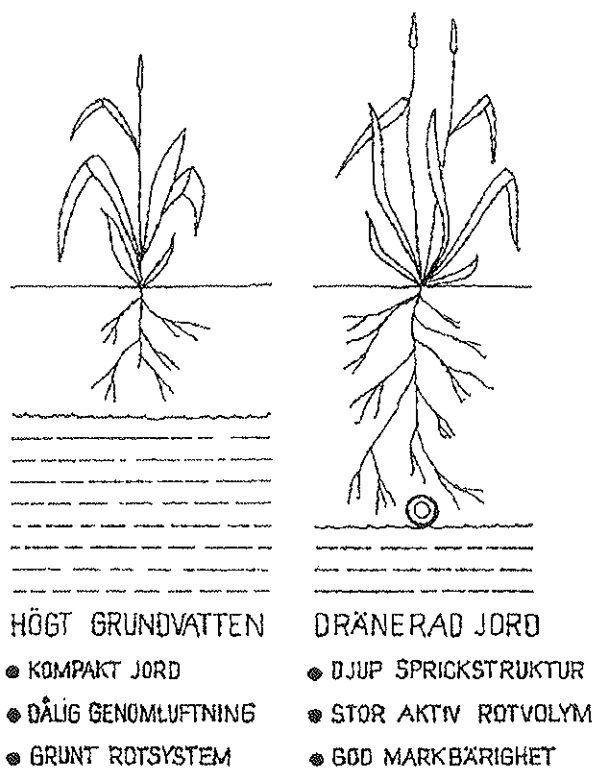
Grundförbättrande åtgärder innebär att man genom en engångsåtgärd förändrar de grundläggande förutsättningarna för en långsiktig och uthållig odling. Exempel på grundförbättrande åtgärder är dränering, strukturförbättring, tillförsel av externt organiskt material, alvluckring etc. Nedan tas några åtgärder upp som kan främja markens struktur långsiktigt.

Dränering

Mängden vatten i marken bör anpassas efter grödornas behov, underskott som överskott av vatten medför att skördenivån sänks utifrån förhållanden med optimala vattenhalter. Överskott av vatten medför sämre genomluftning i marken och växterna kan drabbas av koldioxidförgiftning. Risken för ytavrinning ökar och därmed också risken för yterosion. Växternas rötter får begränsad tillväxt på djupet vid högt liggande grundvatten vilket minskar deras skördepotential (figur 14). För att komma till rätta med problemen kring överskott av vatten är den vanligaste åtgärden att dränera. Det innebär att man gräver ned ledningar som leder bort vattenöverskott från fältet till omgivande vattendrag och sjöar. Dränering medför att upptorkningsförloppet påskyndas och att markens bärighet förbättras. Detta medför i sin tur att man kan komma ut och så tidigare på våren och göra höstbearbetningarna senare.

Dräneringsbehovet skiljer sig mellan olika grödor och jordarter. Grödor som har djupgående rötter såsom höstsäd, oljeväxter, ärtor, klöver, sockerbetor o.s.v. gynnas av god dränering. Grödor med grundare rotsystem är inte lika beroende av ett gott dräneringstillstånd. Potatis har inte så djupt rotsystem men behöver väl-dränerade jordar p.g.a. att knölarna är känsliga för fuktiga förhållanden vilket gynnar sjukdomar samt att brukaren är beroende av god bärighet vid skörd för att inte orsaka för mycket packningsskador.

Jordarnas förmåga att dränera bort överskottsvattnet skiljer sig åt. Lättare jordar såsom sand- och grovmojordar samt gyttejordar har en god inneboende dräneringsförmåga. På mo- och mjälajordar föreligger ofta ett dräneringsbehov för att minska skador från uppfrysning och isbrännor. Leror är de jordar som har störst dräneringsbehov. De är ofta täta och vattnets



Figur 14. Skillnader mellan en väl-dränerad jord och en som inte är dränerad (Weidow, 1998).

borttransport är förhållandevis långsam vilket snabbas på väsentligt med dränering. När en lera dräneras tillåts även jorden att torka upp på djupet, ett stabilt spricksystem kan bildas, infiltrationen ökar och rötterna kan växa ned ytterligare på djupet.

Strukturkalkning

Strukturförbättring med bränd eller släkt kalk kan ha positiv effekt på lerjordar. Kalken reagerar med leret och kan framförallt stabilisera en god struktur och därigenom göra jordarna mer tåliga. Det ideala är att tillföra kalken efter ett vallbrott eller en bra höstvetegröda som torkat ut profilen väl.

Tillförsel av större mängder externt organiskt material

Hög mullhalt gynnar strukturen på alla mineraljordar. På lättare jordar har det avgörande betydelse för markstrukturen. Man bör i växtföljden försöka återföra så mycket man kan av det producerade organiska materialet för att uppehålla mullhalten. Utöver detta kan även ytterligare organiskt material (t.ex. rötslam, kompost, rötresten från biogasanläggningar, stallgödsel från grannar, o.s.v.) behöva tillföras, i synnerhet på rena växtodlingsgårdar utan vallodling.

Som grundförbättring räknas engångsåtgärder där större kvantiteter organiskt material tillförs i syfte att långsiktigt förbättra markstrukturen. Komposterade organiska material är mest fördelaktiga i detta sammanhang, eftersom stabila kolföreningar som bryts ner långsamt har anrikats i dessa. Detta medför också att effekten per ton tillfört organiskt material blir högre.

ODLINGSSYSTEMETS EFFEKTER PÅ MARKSTRUKTUREN

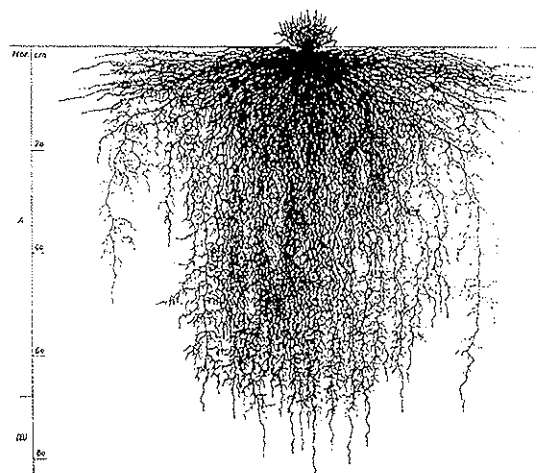
Det sätt på vilket man brukar sin mark har stor inverkan på bördigheten. Olika odlingssystem har olika inverkan på markstrukturen. I indexet behandlas sex påverkbara faktorer i odlings-systemet vilka av Berglund och Johansson ansetts vara av störst vikt för markstrukturen (se nedan). Dessa faktorerers inverkan på markstrukturen beskrivs i kommande avsnitt.

Positiva faktorer:	+Rotmängd	Negativa faktorer:	-Bar ofrusen mark
	+Organiskt material		-Antal överfarter
	+Upptorkning		-Markbelastningar

Rotmängd

I dagens jordbrukssystem bortförs eller bränns huvuddelen av det ovanjordiska materialet. I ett sådant system utgör växtrötterna den största bidragande källan av organiskt material till åkermarken, och som sådan av stor betydelse för markstrukturen. Deras mängd och utbredning är därför avgörande för hur mycket, från växten härstammande, organiskt material som tillförs olika delar av markprofilen (Reid & Goss, 1981).

Rötterna bidrar till bildandet av markens organiska material genom döda rötter och rothår samt genom avyttring av döda celler och slem (rotexudat). Hos fleråriga (perenna) vallar är det endast en del av de rötter som bildas under året som dör och kan brytas ned. Hos ettåriga (annuella) grödor, däremot, blir hela deras rotbiomassa tillgänglig för nedbrytning på hösten. Perenner bygger upp biomassa både ovan och under markytan, men den mesta blir tillgänglig först när vallen bryts eller grödan skördas (Andrén m.fl., 1987). Vallväxternas fina rotsystem har positiva effekter på markstrukturen (figur 15). Nedbrytningshastigheten beror bland annat på materialets kemiska sammansättning, t.ex. lignin, cellulosa, kväve, och lättnedbrytbara enklare kolhydrater. Kvävegödsling ökar växtens biomassa och därmed även rotmängden. Rotmängden är starkt kopplad till skördenivån. Hög skördenivå innebär stor rotmängd. Växtarten och växtföljden inverkar på mängd och typ av mikroflora och mikrofauna. Marklevande mikroorganismer utsöndrar och bidrar i sig själva till organiska substanser vilka har stabiliserande effekt på aggregaten i marken. Skillnader mellan arter kan även bero på deras olika rotsystem, eftersom det huvudsakligen är vid rotspetsarna som utsöndring av organiska substanser sker (Reid & Goss, 1981). Rötternas utbredning inverkar på upptorkningen av markprofilen, detta diskuteras i kapitlet om upptorkningens inverkan på markstrukturen.

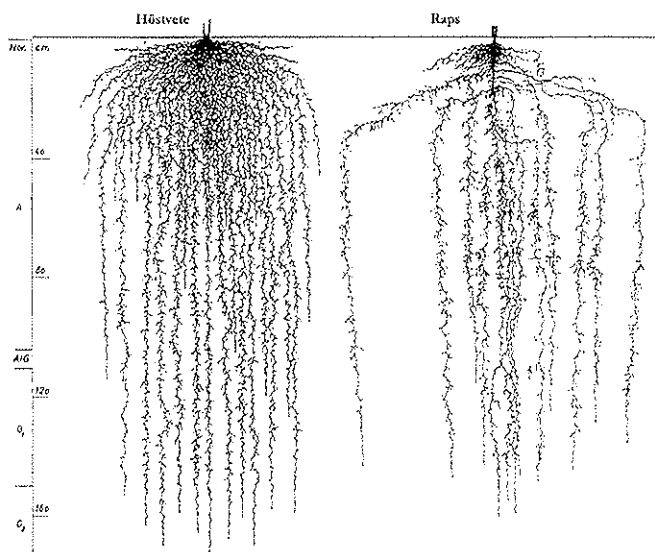


Figur 15. Rotsystemets utseende hos rajgräs på aggregerad jord underlagrad av morän (markprofil: A 0-68 cm "humoser kiesiger schottriger Lehm", (B) - 90 cm "kiesiger schottriger Lehm", C "kiesiger sandiger Schotter" (Kutschera, 1960)

Rotutveckling hos enhjärtbladiga och tvåhjärtbladiga växter

Tvåhjärtbladiga växter (dikotyledoner) såsom sockerbeter och raps utvecklar sina rotsystem utifrån den primära roten vilken formas till en pålrot. Denna karaktäriseras av en kraftig, centralt belägen, vertikal rot som omges av mindre, laterala, rötter. Övre delen av pålroten har endast ett fåtal laterala rötter. Enhjärtbladiga växter (monokotyledoner) såsom stråsäd och andra gräs, har två slags rotsystem. Dels frörötter (seminala rötter) som utvecklas från groende kärnan (primärt rotsystem), dels kronrötter (nodala rötter), som utvecklas från förkortade strånoder vid bestockningen.

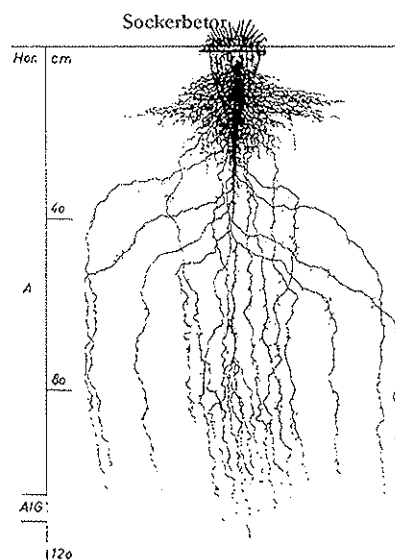
I figur 16 a och 16 b visas rotsystemen för några typiska grödor. Det är plantans huvudrötter som svarar för den vertikala penetrationen av jorden, och sidorötterna för den horisontella. Seminala huvudrötter är längre och smalare och når i regel djupare i alven. Nodala huvudrötter är kortare och tjockare och breder ut sig mer i matjorden (Haak, 1984). Den största andelen av rotbiomassan finns vanligtvis i matjorden.



Figur 16 a. Rotsystemens utseende på aggregerade jordar för höstvete (markprofil: A 0-110 cm "humoser Lehm", A/G - 120 cm "humoser Lehm, rostfleckig") och raps (jordart: A₁ 0-30 cm "humoser Lehm", A₂ - 80 cm "humoser Lehm mit schwach blockiger Struktur") (Kutschera, 1960).

Jordartens inverkan på rotutbredningen

I gyttejordar och lerjordar med välutvecklade spricksystem kan rötterna tränga djupt ned i profilen. I lerjordar sker förgreningen av rötterna främst längs sprickväggarna (aggregatytorna). Vid upptorkningen spricker aggregaten och växtrötterna får nya ytor att exploatera. Vid höga vattenhalter sluter sig sprickorna i vissa jordar, då är rötterna hänvisade till maskgångar och andra bioporer, men har svårt att förgrena sig. Om det finns förtätade skikt såsom tät plogsula bromsas rötternas framfart och rotmängden djupare ner decimeras kraftigt. Gyttejeleror kan ha mycket fin och stabil aggregering som gynnar rottillväxt, men de kan även ha en rotspärre p.g.a. lågt pH i övre alven. Rotutvecklingen kan beskrivas som "filtbildning" på aggregatytorna hos gyttejeleror med permanenta sprickor.



Figur 16 b. Rotsystemets utseende hos sockerbete på jord i enkelkornsstruktur (markprofil: A 0-45 cm "schwach humoser, feinsandiger Lehm", C - 90 cm "lehmiger Feinsand schwach und unregelmäßig verbraunt, D Schotter") (Kutschera, 1960).

I enkelkornjordar hejdas rötterna redan vid, eller något under, bearbetningsdjup (p.g.a. mekaniskt motstånd, torrfront, näringsbrist, dålig luftcirkulation etc.) om det inte finns ett ler- eller mullinslag i alven. Rötterna får ett "krusigt" och buskigt utseende i enkelkornsjordar (Wiklert, 1961). Mjälajordar har ofta tät alv där rötterna är hänvisade till makroporer, vissa grödor med kraftig pålrot kan tränga ner och på så vis skapa rotkanaler för efterkommande gröda. När rötterna möter mekaniskt motstånd, såsom ett tätare skikt, blir de mycket tjockare. Detta för att öka trycket mot ytan så den ska ge vika.

Rotsystemet hos flertalet av de svenska jordbruksgrödorna har en djuptillväxt av 2-3 cm/dygn (ca 1 mm/tim) under gynnsamma förhållanden. Vårstråsädens rötter kan då nå ett djup av 130-150 cm vid tiden för axgång, höstsådda grödor når ännu längre (Håkansson, 2000).

Olika gröders rotproduktion och kolbidrag

Att uppskatta hur mycket biomassa växrötterna producerar är svårt eftersom det är en dynamisk process. Produktion, död och nedbrytning sker hela tiden. Allt det kol som växten transporterar till rötterna går inte att finna som faktiska rötter om man undersöker plantan. En del avgår som koldioxid i rotandningen, en del rötter dör och bryts ned och en icke oansenlig mängd utsöndras i form av lätt nedbrytbara rotexudat och döda celler.

En tumregel som ofta används är att ungefär hälften av det kol växten tar upp transporteras till rötterna. Detta stämmer bra för ettåriga gräs och örter, fördelningen skott-rot varierar dock under säsongen (Olsson, 1998). Under perioden fram till grödans kärnsättning ökar rotlängden, eller rötternas torrsvikt, vanligtvis exponentiellt. Därefter sker endast viss rottillväxt. Tidigt under tillväxtsäsongen ackumuleras torrsvikt i rötterna kraftigt i förhållande till skotten, men mot slutet är det tvärtom (Klepper, 1987). Olsson (1998) påpekar att två- och fleråriga växter kan avvika kraftigt från tumregeln, t.ex. satsar tvååriga (bienna) mycket på rötterna första året för att klara vintern.

Enligt Hansson (1987) anges ofta fördelningen mellan skott- och rotproduktion vara 7-10:1 i årliga grödor, hon noterar dock att både högre och lägre siffror erhållits och att detta bl.a. beror på genetiska- och miljöfaktorer. Perenna grödor har ofta högre rotproduktion, där kan förhållandet vara 2:1 i gräsvall och 1:1 för lucern. I de siffror hon använder har inte det som avgår i rotzonen (rhizodepositionen) tagits med. Hon noterar att den i vete kan uppgå till minst lika mycket som det som finns i rötterna (dessutom avgår koldioxid, vilken kan uppgå till hälften av det som transporterats till rötterna). Hansson (1987) har funnit att rotproduktionen från gödlat korn i litteratur angetts som 800-2400 kg/ha (skiljer sig p.g.a. olika jordar sorter och klimat), själv erhöll hon 1600 kg/ha för korn och 4600 kg/ha för ängssvingelvall. Kvävegödsling verkar leda till ökad skottproduktion i förhållande till rotproduktionen. Hansson (1987) noterar även att majoriteten av rötterna finns i matjorden.

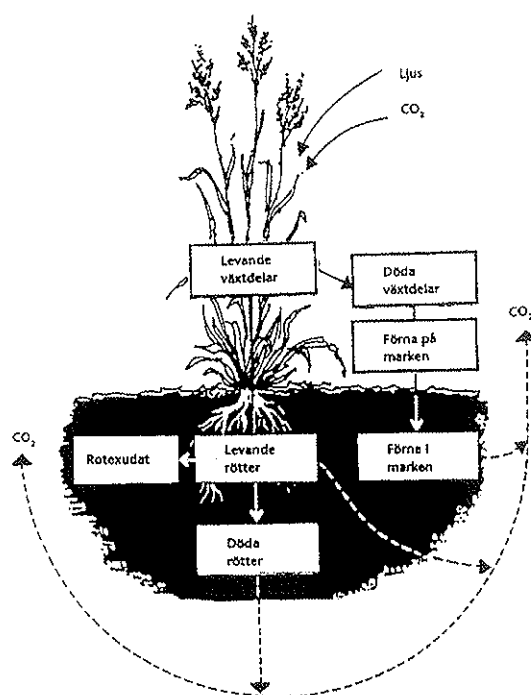
Mattsson (1991) har erhållit nedanstående värden (tabell 2) för olika grödor på en sand och en lerjord. Även han påpekar att merparten av rötterna finns i de översta 25 cm av marken.

Tabell 2. Rotmassa på sand- och lerjord (efter Mattsson, 1991)

Gröda	Rotmassa torrsbstans (ton/ha)	
	Sandjord	Lerjord
Korn	3,33	5,41
Rajgräs	8,41	-
Vårraps	-	7,72
Potatis	0,96	-

Johansson (1994a) har gjort följande uppskattningar av grödors kolproduktion (figur 17):

- Kolöverföringen till rötterna på lerjord under växttiden kan för stråsäd, ärter och oljeväxter anses vara lika stor som kolmängden i bruttoskörden av halm plus bladfall m.m. och spill (= 1/6 av total halmproduktion). För vall är motsvarande kolmängd skördad vallmassa plus bladfall m.m. och spill (= 1/4 av skördad vallmassa).
- Markandningen under växttiden kan för stråsäd, ärter och oljeväxter anses innebära att 60 % av den till rötterna överförda kolmängden avgår som koldioxid från marken. För vall, nysått höstvet och vallinsådd på hösten är det 40 %. Resten kan vid växtsäsongens slut anses finnas mestadels som döda rötter, en del levande och i mikroorganismer.
- Kolhalten i producerad torrsbstans är ca 43 %. Nysådd höstsäd kan på hösten överföra 75 kg kol/ha till rötterna, vallinsådd efter skörd av skyddsgröda och fram till vintern 200 kg kol/ha.



Figur 17. Kolets kretslopp (Hansson, 1996).

Återförsel av organiskt material

Många rapporter (Haynes & Naidu, 1998) har påvisat att ökat innehåll av organiskt material resulterar i följande positiva effekter på markens fysikaliska egenskaper:

- ökad vattenhållande förmåga
- ökad porositet
- ökad infiltrationskapacitet
- ökad hydraulisk konduktivitet
- ökad bildning av vattenstabila aggregat
- minskad skrymdensitet.

Liten mängd organiskt material ökar risken för erosion, skorpbildning, igenslamning och ytavrinning. Vissa jordar med lerhalter mellan 15-25 % är särskilt känsliga. En av de mest påtalade effekterna av organiskt material är förbättringen av markstrukturen. Jordens skrymdensitet är en mätbar funktion för markstruktur. Intensiva odlingssystem ökar denna, dvs. jorden blir mer kompakt. Försök har med hög signifikans visat att skrymdensiteten minskar vid tillförsel av organiskt material. Effekter har även påvisats i alven, vilket indikerar att organiska fraktioner rört sig ner i profilen. Detta kan bero på att de lakats ur eller på biologisk omblandning av t.ex. daggmaskar (Avnimelech, 1986). Den minskade skrymdensiteten beror även till viss del på att de tyngre mineralpartiklarna späds ut av det lättare organiska materialet. Den effekt som organiskt material har på skrymdensiteten och mullhalten har bland annat påvisats av Janssen (1984) (tabell 3).

Porvolymen ökar vanligtvis som resultat av ökad aggregering. Även ökad daggmaskpopulation har kunnat iakttas, i synnerhet efter tillförsel av stallgödsel och slam, vilket är av betydelse för makroporerna. Humus består huvudsakligen av humussubstanser (fulvosyror, humussyror och humin) och polysackarider. Dessa samverkar med oorganiska kolloider, och det är därför de har stor betydelse för stabiliseringen av naturliga aggregat i marken. Granulering och aggregatstabilitet gynnas i synnerhet av polysackarider.

Tabell 3. Inverkan av olika gödselslag på skrymdensitet och organiskt material i matjorden (0-25 cm) efter 25 års försök. Det organiska material som tillförts under försöksperioden betecknas som nytt. Det organiska material som härstammar från innan försöket startades betecknas som gammalt (efter Janssen, 1984)

		Mineralgödsel (endast)	Mineralgödsel + Gröngödsel	Mineralgödsel + Vall + Stallgödsel
Skrymdensitet (g/cm ³)		1,50	1,45	1,35
Organiskt material (ton/ha)	Totalt	78,4	81,9	86,9
	Nytt	6,2	11,0	15,2
	Gammalt	72,2	70,9	71,7

Jordart

Mullhaltens inverkan på olika jordar skiljer sig åt. På styvare jordar krävs ganska hög mullhalt för att effekten ska vara märkbar. Detta eftersom lerans egenskaper är så dominanta, redan vid låg lerhalt är det den som sätter prägel på hur jorden uppför sig. Dessa jordar har dessutom många positiva markfysikaliska egenskaper som det är, och är därför inte lika beroende av mullen. Hög mullhalt på lerjordar minskar deras plasticitet, kohesion och smetighet, vilket gör dem lättare att bruka.

På lättare jordar bör man vara extra mån om mullhalten. En liten mullhaltsförändring kan ha stor betydelse för markens egenskaper. Grova sandjordar har god infiltration och luftväxling i sig, och det är främst för att hindra uttorkning som mullen behövs. På struktursvaga lättare jordar däremot (finsand, mjäla) har mullen avgörande inverkan på många av de markfysikaliska egenskaperna.

Den vattenhållande kapaciteten höjs vid inblandning av organiskt material, i synnerhet på sandjordar (Avnimelech, 1986). Egenskapen är särskilt viktig just på lätta jordar för att trygga grödans vattenförsörjning under torra förhållanden. I en lerjord innebär varje procentenhets förändring av mullhalten i genomsnitt ca 2 mm växttillgängligt vatten per dm. Det kan innebära en ökning av vattenförrådet med 10 % (Mattsson, 1993).

Mullråämnets kvalitet

Organiskt material är centralt för bildningen av vattenstabila aggregat. Tillförsel av organiskt material innebär att en källa av tillgängligt kol tillförs. Detta medför ökad aktivitet av mikroorganismer och svampar. Ett rikt mikrobiell liv medför att stabila aggregat bildas. Lätt-nedbrytbara kolkällor såsom grüngödsling åstadkommer en snabb ökning av aggregatstabiliteten. Vanligtvis är denna effekt dock tillfällig och övergående eftersom den mikrobiella populationen snabbt avtar och svamphyfer och polysackarider bryts ner. Ett väl nedbrutet eller komposterat material medför en långsam och mer stabil ökning av aggregatstabiliteten, eftersom det organiska materialet i huvudsak består av humussubstanser som är relativt stabila (Haynes & Naidu, 1998).

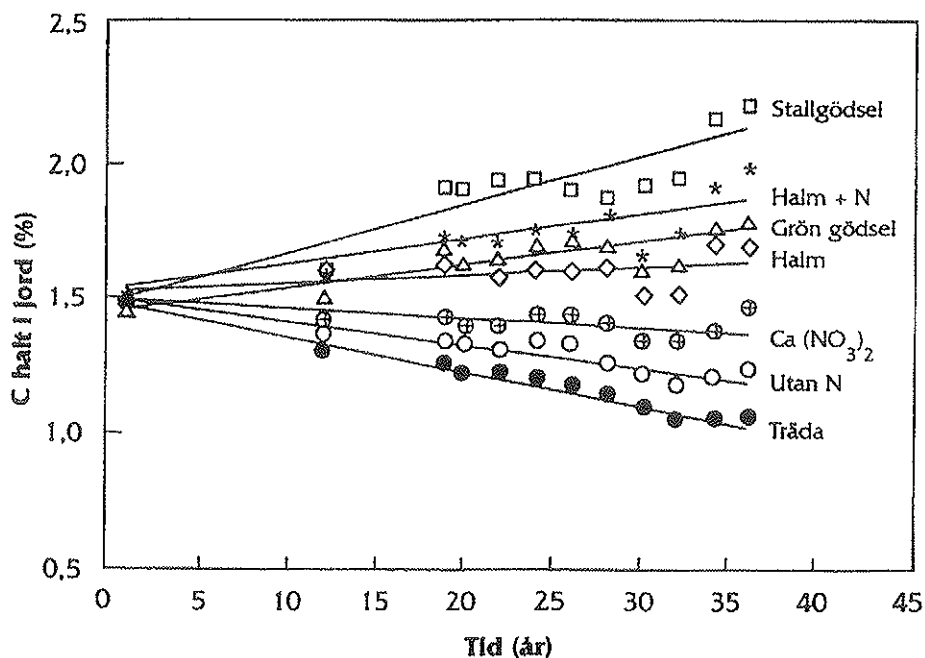
Den mängd organiskt material som ackumuleras i marken per ton tillfört organiskt material kan alltså variera mycket beroende på hur lätt det bryts ner. Därför finns inget enkelt samband mellan tillförd mängd kol och observerad nettoökning av markens kolinnehåll. När en mängd organiskt material tillfördes en jord, ökade ackumulerad mängd organiskt kol i marken enligt nedan (Sauerbeck, 1982):

grüngödsling < halm < färsk stallgödsel < komposterad stallgödsel

Ökning av organiskt kol i marken per ton tillfört organiskt material är högre för komposterat än färskt material eftersom nedbrytning ägt rum i det förstnämnda redan innan materialet tillförts marken. Vid denna process har enkla föreningar brutits ned under CO₂-avgång. Detta medför att materialet relativt sett är mer motståndskraftigt mot ytterligare nedbrytning (Haynes & Naidu, 1998).

Hur mullråämnets kvalitet inverkar på humusbildningen illustreras i figur 18 från långliggande fältförsök på Ultuna. Samma mängd organiskt material har tillförts i alla led som

innehåller organiskt material. Stallgödsel resulterar i högre halt kol än grüngödsel eftersom det är mer nedbrutet. Lignin, som är viktig för humusbildningen har ansamlats i den. Halmens positiva effekt syns tydligt. Gödslade grödor ger högre kolhalt eftersom högre produktion av skörderester erhållits, ytterligare en orsak kan eventuellt vara att kvävenivån stabiliserar humussubstanserna. I figuren illustreras dessutom rötternas inverkan. Mer kol har erhållits där gröda funnits än där marken trädats (Persson & Otabbong, 1994). Eftersom mullhalten förändras långsamt måste den få ett kontinuerligt bidrag.



Figur 18. Förändringar i organiskt kol i långliggande försök med organisk substans vid Ultuna (Kirchmann m.fl., 1994).

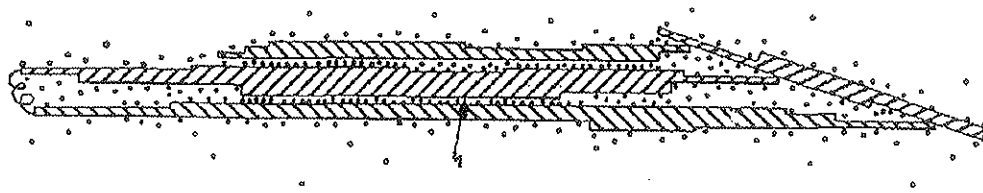
Johansson (1994a), har gått igenom 16 långliggande försök i Norden och noterar att alla försök eller försöksled utan vall i växtföljden och utan tillförsel av skörderester, halm eller stallgödsel (5 st.) har gett en minskning av markens kolinnehåll. Med 2-4 år vall i 6-åriga växtföljder för två lerjordar har kolbindningen i marken i genomsnitt varit 530 kg/ha mer under varje vallår än varje stråsådsår, i andra försök mer än det dubbla. Genomgående har också varit att om skörderesterna (halm och blast) nedbrukas, i stället för att bortföras eller brännas, binds större mängder kol i marken.

Negativa effekter av organiska gödselmedel

Vid för kraftig tillförsel av organisk gödsel kan negativa effekter uppstå. Haynes & Naidu (1998) tar upp ökad skorpbildning, ökad igenslamning och minskad hydraulisk konduktivitet. Författarna förklarar att orsaken till denna förstörelse av markstrukturen är den höga halten envärda joner (Na^+ och K^+) i gödslet, vilka i hög halt (>100 ton/ha) kan bli de dominerande utbytbara jonerna. Detta orsakar dispersion av markkolloiderna. Ofta lakas dock överskottet ut och effekterna blir inte så uttalade. Ytterligare ett problem som omnämns är att jorden kan få vattenavstötande egenskaper, vilket man tror beror på en svamp som vid nedbrytningen av gödslet producerar vattenavstötande organiska substanser.

Upptorkningens inverkan på strukturen

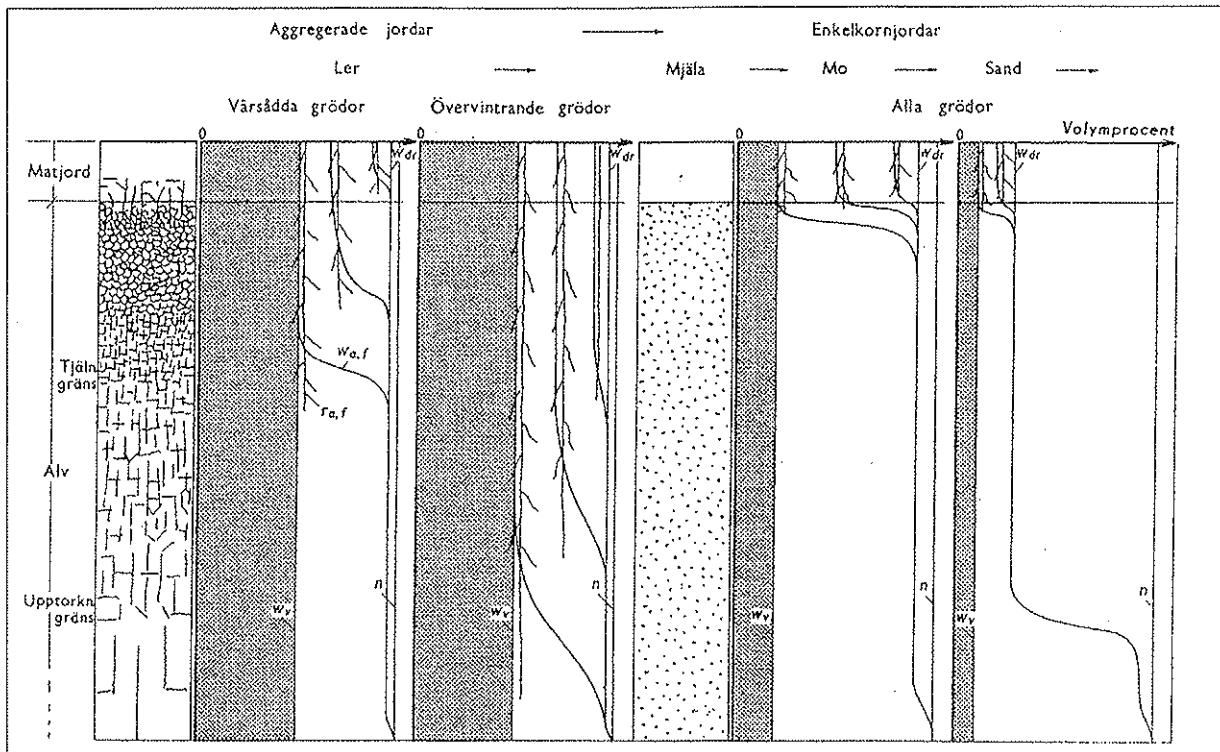
Upptorkningen anses som ett av de viktigaste förloppen när det gäller att skapa en god och stabil struktur i marken. Som nämnts tidigare grundar sig bildningen av aggregat i lerpartiklars och humuspartiklars förmåga att binda sig till varandra. Attraktionen uppstår ej spontant då partiklarna ofta är negativt laddade. För att de skall kunna bilda aggregat måste de komma tillräckligt nära varandra så att repulsionen övervinns. När en jord torkar uppstår ett krympningstryck som bildas när vatten avdunstar och ytspänningen ökar mellan partiklarna och drar dem närmre varandra. När partiklarna är tillräckligt nära varandra kommer positiva joner som omger partiklarna bilda gemensamma bryggor mellan partiklarna och små aggregat uppstår (i figur 19 visar pilen var partiklarna pressats över repulsionströskeln) (Heinonen, 1985). I torrt tillstånd fungerar alltså vatten som ett attraktionsmedel mellan partiklarna men i blött tillstånd fungerar det däremot som ett smörjmedel, i och mellan aggregaten. Vid höga vattenhalter blir aggregaten mycket känsligare för yttre påverkan, såsom packning (Håkansson, 2000).



Figur 19. Tvärsnitt över hur lermineralen är skiktade. Pilen visar var lermineralen sammanbinds med positiva joner (Heinonen, 1985).

Upptorkningen kan ske på två sätt, heterogent eller homogent. Heterogen upptorkning är vanligast. Den sker på flera olika platser i marken och skapar därmed blöta och torra zoner. Detta sker vid växternas vattenupptag genom deras rötter och vid tjälning av marken (Heinonen, 1985). Heterogen upptorkning skapar mindre fristående aggregat i varierande storlek och vertikala och horisontella sprickor bildas. I och med detta skapas ett bättre klimat för växrötterna med både makro och mikroporer. Den heterogena upptorkningen har förmågan att kunna reparera skador orsakade av packning eller körsador. Upptorkningsgraden beror på många faktorer och nedan behandlas de viktigaste.

Som exempel på homogen upptorkning kan nämnas den skorpbildning som sker på struktur-svaga jordar. Aggregaten slås sönder av regndropparnas kraft och jorden slammar igen, jorden torkar upp och en skorpa bildas (Heinonen, 1972). Den homogena upptorkningen sker då vatten avdunstar (evaporerar) från markytan upp i atmosfären och en så kallad upptorkningsfront bildas som rör sig nedåt i profilen (Hillel, 1998). Den homogena upptorkningen bildar en mer massiv och hård struktur, en miljö där växternas rötter kan ha mycket svårt att tränga ned. Denna typ av avdunstning är dock av underordnad betydelse vid ett redan etablerat växttäck. Figur 20 visar hur upptorkningsförloppen ser ut på enkelkornjordar och aggregerade jordar med olika grödslag.



Figur 20. Sammanfattande principdiagram över rotutvecklingen och upptorkningsförloppen. Där n =porositet, W_v =vissningsgräns, W_a =aktuell vattenhalt och W_{dr} =vattenhalt vid dräneringsjämvikt (Andersson, 1955).

Jordarten

Jordarten har stor betydelse för upptorkningen då den styr de vattenhållande egenskaperna samt hur mycket vatten som är växttillgängligt. Jordarten påverkar även hur långt ned rötterna kan gå och därmed också hur stor jordvolym som rötterna kan ta upp vatten ifrån vilket bestämmer hur djupt ned det heterogena torkningsförloppet kan ske (Wiklert, 1961). Rotutvecklingen i mo- och sandjordar är ofta begränsad på grund av mekaniskt motstånd i gränsskiktet mellan matjord och alv. Rötterna tränger ofta inte ned längre än till 30-40 cm. I aggregerade jordar med stabil struktur och djup sprickbildning har växternas rötter goda möjligheter att tränga ned i alven. Det är inte ovanligt att till exempel höstveten kan tränga ned till 1,5-2 meters djup (Johansson, m.fl., 1993). För att upptorkningsförloppet skall kunna ske effektivt även på djupet i en lerjord är det viktigt att makroaggregaten är relativt små. Rötterna växer främst mellan aggregaten då fragmenten ofta är svåra att tränga igenom. Detta medför att vattnet måste transporteras ut mot aggregatets kanter för att det skall komma grödan tillgodo vilket kan ta lång tid (Wiklert, 1961).

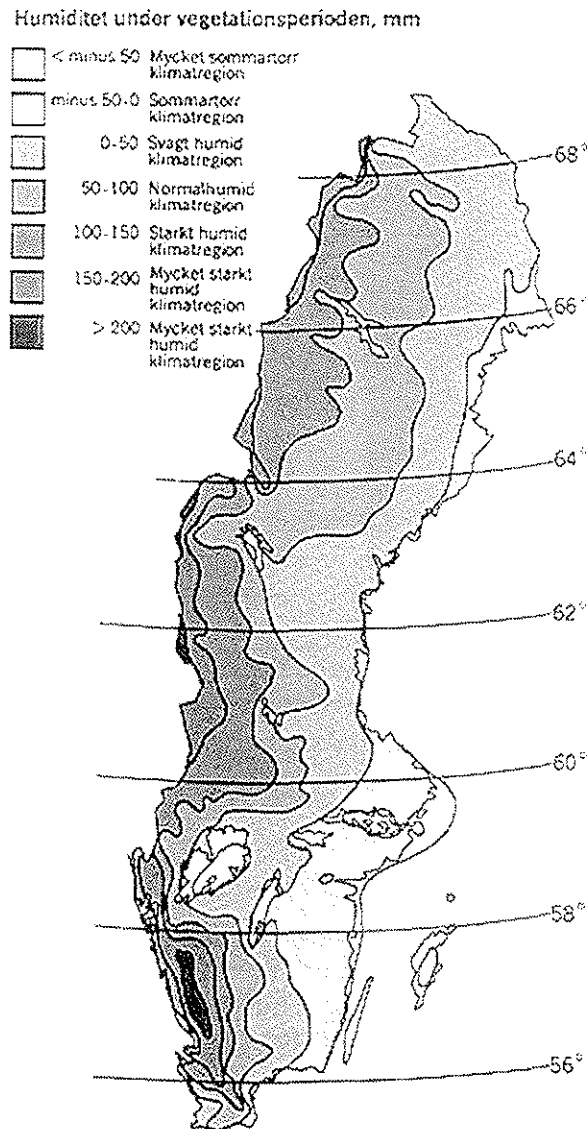
Klimatet

Klimatet är en av de viktigaste faktorerna som påverkar både tillförseln (nederbörd) och bortförseln (avdunstning från marken/växterna) av vatten från markprofilen (Eckersten m.fl., 1998). Nederbörden varierar i Sverige både geografiskt och över tiden, skillnaderna kan vara stora från år till år. Generellt sett är de östra delarna av Sverige torrare än de västra. Humiditeten, skillnaden mellan nederbörd och avdunstning under vegetationsperioden är alltså störst i de östra delarna av landet (figur 21). Detta medför att upp-torkningsfrekvensen är högre i de östra delarna av landet (Internet, Markinfo 2001).

Växtens vattenupptag

Växter består till 70 % av vatten. Detta faktum gör vattnet till den viktigaste beståndsdel. Växterna använder vattnet bland annat för livsuppehållande processer. Gräs och andra icke vedartade växter använder det även till att uppehålla turgor i sina celler. Turgor är växtens saftspänning som gör att växten kan vara upprätt och därmed låta sina blad ta upp solenergi och koldioxid genom fotosyntesen.

När växten tar upp koldioxid genom klyvöppningarna (stomata) avges vattenånga. Denna vattenavgång från klyvöppningarna kallas växtens transpiration. Mängden vatten som åtgår för växtens byggnad är förhållandevis liten vid jämförelse med det vatten som avgår genom växtens klyvöppningar (Eckersten m.fl., 1998, kap 6). Mängden vatten som transpireras bestäms av flertalet faktorer. Växten tar upp vatten från marken via rötterna, mängden växttillgängligt vatten i marken är begränsad (om inte förrådet fylls på av nederbörd) och det är dess begränsning som styr hur mycket vatten som kan transpireras. Vid torra förhållanden känner växten av vattenbristen i marken och klyvöppningarna stängs vilket hindrar koldioxidupptaget samt mängden transpirerat vatten och därmed tillväxten (figur 22). Avgången av vattenånga från klyvöppningarna till atmosfären är själva drivmotorn i hela växtens vattenupptag. Drivkraften styrs av klimatologiska faktorer såsom luftfuktighet, temperatur och vindhastighet ovanför bladytan (Eckersten m.fl., 1998, kap 4). Vid mulet, fuktigt och kallt väder är transpirationen låg medan



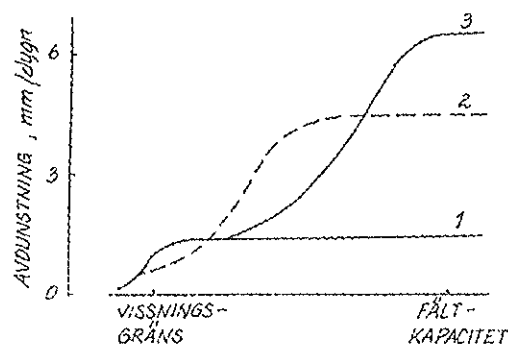
Figur 21. Humiditeten under vegetationsperioden i Sverige (Internet, Markinfo 2001).

den vid varmt, blåsigt och torrt väder är hög. När markens vatteninnehåll minskar inverkar detta på klyvöppningarna. De sluts då i takt med att vattentillgången avtar (Linnér & Johansson, 1977).

Under en vanlig svensk sommardag kan en frodig stråsädesgröda transpirera bortemot 3-4 mm vatten. Varma torra dagar kan transpirationen uppgå till hela 6-7 mm (Eckersten m.fl., 1998, kap 6), förutsatt att markens förråd med vatten är tillräckligt.

Grödornas olika förmåga att torka ut jorden brukar graderas på följande vis: Vall torkar ut bäst följt av sockerbetor- höstsäd – höstoljeväxter – vårsäd – ärtor – våroljeväxter (Johansson, m.fl., 1993). Växternas förmåga att ta upp vatten, alltså den kraft de kan ta upp vatten från marken med, sträcker sig till 150 m.v.p. Det motsvarar attraktionskraften från en por med diametern 0,002 mm. Porer som är mindre håller vattnet så hårt att växterna inte har någon möjlighet att ta upp det.

Även rotsystemets utseende samt förmågan hos olika arter att penetrera ned genom markprofilen påverkar hur stor andel av markvattnet de kan ta upp (se avsnittet om rotmängd) (Johansson, 1994). Avdunstningen från en väl fuktad mark utan växtlighet är ungefär hälften så stor som från ett växande bestånd. Är dessutom ytskiktet upptorkat kommer skillnaden bli ännu större och det kommer bara avgå en femtedel så mycket vattenånga från barmarken som ett växande bestånd (Linnér & Johansson, 1977).



Figur 22. Evapotranspirationen varierar med markens vattenhalt vid olika väderleksförhållanden. 1 = låg, 2 = medel och 3 = hög möjlig avdunstning (Linnér & Johansson, 1977).

Frysning som upptorkningsprocess

I det svenska klimatet med kalla vintrar där temperaturer under -10°C inte är ovanliga, förekommer även en upptorkningsprocess genom tjälbildning. Upptorkningsprocessen gör sig endast gällande i fintexturerade jordar (mindre partiklar än finmo) då den är beroende av heterogen tjälbildning. Grovtexturerade jordar såsom sand, mo och låghumifierad torv fryser mer homogent vilket inte bidrar till någon upptorkningseffekt (Wiklander, 1976). Tjältningsprocessen i en lera börjar med att det bildas små iskristaller i de större porerna där vattnet inte är så hårt bundet. Dessa iskristaller tillväxer medan det är frostgrader och drar därmed till sig vatten från omgivande porer i marken på grund av att isens ångtryck är lägre än vattnet som är bundet i porerna, dock sjunker aldrig ångtrycket så lågt att det adsorptivt bundna vattnet transporteras till iskristallerna (Holmes m.fl., 1996). På detta sätt sker det en heterogen upptorkning i jorden runt omkring iskristallerna med strukturstabiliserande effekter som följd. De strukturfrämjande processerna genom tjälning berör främst matjorden då dess verkan på djupet är ringa.

Andel bar ofrusen markyta

I ett naturligt ekosystem är marken beväxt hela året vilket medför att den underliggande jorden till stor del är skyddad från yttre påverkan av vind och regn. Växtligheten binder fast markens partiklar med sitt rotsystem samt skyddar jorden från regndropparnas slag som när de träffar oskyddad jord kan orsaka igenslamning, skorpbildning och sedermera erosion (Håkansson & Nilsson, 1963). Det är inte bara växtligheten som skyddar marken utan den anses också skyddad då den är frusen eller täckt med snö.

Igenslamning samt skorpbildning

Regndroppar som faller på bar mark utövar slag på markytan och kan därmed förstöra den befintliga aggregatstrukturen. Aggregaten splittras upp i mindre delar och vid ihållande regn bildas en jordvägning på markytan som leder till att porer och sprickor slammas igen. Det är främst på struktursvaga jordar, såsom jordar med stort inslag av mo och mjäla som detta sker. Även mullfattiga lätt- och mellanleror kan drabbas av igenslamning.

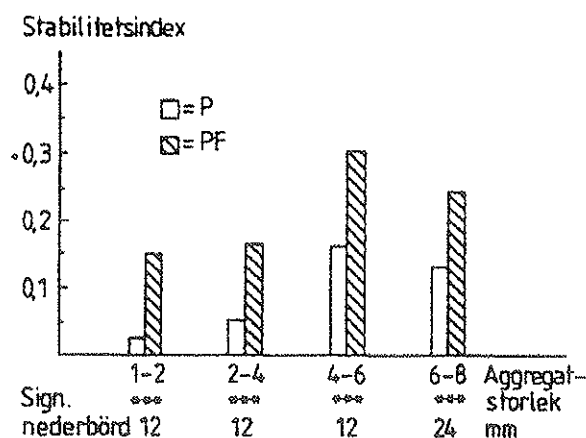
Igenslamningen medför att infiltrationen minskar ytterligare då porerna täpps igen på ytan, även gastransporten hämmas av att porerna täpps igen vilket kan leda till höga halter av koldioxid under markytan (Heinonen, 1982). Jorden är som känsligast för igenslamning efter att vårbruket är klart då bruket är som finast och aggregaten redan har sönderdelats genom de bearbetningar som gjorts. Marken har dessutom inget skyddande växttäckte utan ligger alldeles öppen och kan därmed utsättas för regndroppars slag under perioden mellan sådd och uppkomst. Generellt tar det cirka 14 dagar innan stråsädesgrödans första hjärtblad kan skönjas på fältet (Johansson m.fl., 1993).

Vid igenslamning efter sådd kommer dels tillväxten att hämmas p.g.a. förhöjda halter av koldioxid och dels av att grodden har svårt att tränga igenom den skorpa som kan bildas om det blir torra förhållanden efter regnet. Det översta markskiktet kommer att torka homogent (se avsnitt om upptorkning) vilket kommer leda till en hård skorpa som kan vara mycket svår att bryta. Groddplantorna har inte någon möjlighet att ta sig upp utan de kommer att växa tills dess att näringen från fröet är slut varefter groddplantan kommer att dö (Heinonen, 1982). Igenslamning och skorpbildning kan även skada plantorna efter uppkomst i och med den försämrade gastransporten mellan mark och luft. Tvåhjärtbladiga växter (t.ex. raps och ärter) är känsligare än enhjärtbladiga (t.ex. stråsädesgrödena) för syrebrist, tvåhjärtbladiga plantor kan börja vissna redan efter 3-4 dagar med blöta förhållanden (Heinonen, 1982). Plantorna måste täcka marken innan risken för skador från igenslamning och skorpbildning kan avfärdas helt. En stråsädesgröda anses täcka marken ca 7 dagar efter uppkomst och ge fullgott skydd. Oljeväxter och ärter tar lite längre tid på sig här kan man räkna med ca 10 dagar efter uppkomst. Radgrödor såsom potatis och sockerbetar tar ännu längre tid och här kan det ta upp emot en månad innan beståndet täcker markytan (Johansson m.fl., 1993).

Direktsådd eller plöjningsfri odling medför att växtrester ligger kvar på marken och därmed skyddar från regndropparnas slag. Dessutom sker en anrikning av organiskt material i ytskiktet vilket kommer leda till en stabilare aggregatstruktur (figur 23). Försök har visat att den organiska halten kan öka med 0,5-1 % i ytskiktet under en tioårsperiod med plöjningsfri odling (Rydberg, 1987).

P = Konventionell bearbetning

PF = Plöjningsfri odling



Figur 23. Skillnad i aggregatstabilitet i såbädden efter 10 år med plöjningsfri odling på Ultuna (Rydberg, 1987).

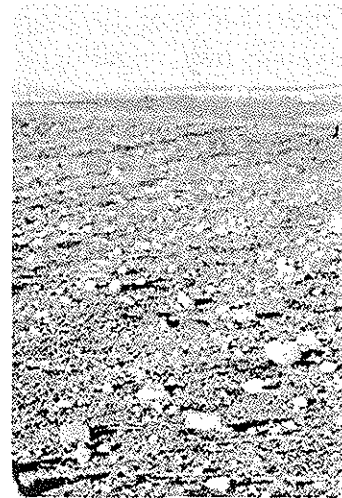
Erosion

Erosion är en naturlig process i landskapets evolution. Processen innebär borttransport av jord orsakad av vind eller vatten. Det är främst matjordslagret som berörs vid erosion, såvida den inte är långt gången, vilket kan ha en förödande inverkan på markens bördighet. Uppodling av landskapet påskyndar denna process eftersom landskapet blir mer känsligt för yttre påverkan från vind och vatten då marken ligger bar under stora delar av året. De processer som är förknippade med vind- eller vattenerosion skiljer sig ganska markant från varandra och kommer att förklaras mer ingående var för sig här nedan (Pettersson, 1959).

Vinderosion. I Sverige anses denna form av erosion vara den vanligaste. Det är framför allt i de sydligare delarna av Sverige såsom Halland, Skåne, Blekinge samt Gotland och Öland som vinderosion kan vara omfattande, dessutom finns det lokala platser som kan drabbas (Mattsson, 1984). Vinderosion är vanligast på enkelkornjordar med stort inslag av sand, mo eller mjäla. Är fältet dessutom stort och det råder torra förhållanden i kombination med bar mark och stark vind kan följderna bli förödande.

Ju lösare och torrare jorden är desto mindre kraft behövs för att transportera bort partiklarna. Vid ihållande vind kommer den att torka ut marken ytterligare, vilket kan försvåra vinderosionen än mer. På vilket sätt transporten av markpartiklarna sker beror på deras storlek och givetvis på vindstyrkan. Mattsson (1984) delade in transportsätten i rullande, hoppande

och svävande partiklar. Partiklar större än 1 mm påverkas oftast inte av vinderosion medan 0,5-1 mm partiklar förflyttar sig rullande och partiklar i storleksklassen 0,1-0,5 mm hoppar fram. Partiklar som är mindre än 0,1 mm svävar framåt vilket även innebär att de kan transporteras längst. När en partikel i storleksordningen grovmo hoppar fram genom vindens inverkan kommer den att föra upp ytterligare partiklar vid nedslaget vilka i sin tur kan sätta ännu fler partiklar i rörelse. Partiklar i storleksordningen 0,1-0,5 mm behöver endast vindstyrkor på 4-5 m/s för att sättas i rörelse, om förhållanden är de rätta (Mattsson, 1984). Vinden fungerar som ett såll som bär iväg med finare värdefulla partiklar såsom mull och lämnar kvar grövre fraktioner såsom sten och grus (se figur 24). Detta lämnar jorden i mycket dåligt skick med både sämre närings- och strukturegenskaper. Skadorna kan vara permanenta eller ta sekler att reparera (Internet, An introduction to wind erosion control, 2001).



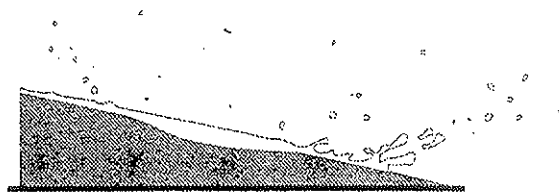
Figur 24. Verkningarna från kraftig vinderosion. (Internet, An introduction to wind erosion control, 2001)

Det finns två sätt att angripa problemet vinderosion. Man får antingen minska kraften från vinden eller förhindra att vinden kan gripa tag i markpartiklarna. Vindens kraft kan minskas med hjälp av läplanteringar och genom att stora öppna fält undviks så långt som möjligt. Läplanteringarna skall vara så utformade att de låter vinden passera igenom men slår sönder dess kraft. Vid för täta planteringar kommer vinden att gå över och dyka ned på andra sidan med förnyad kraft som ytterligare kan förvärra effekten (Mattsson, 1984). En bra läplantering skyddar fältet i vindens förlängning upp till 50 gånger sin egen höjd (Internet, An introduction to wind erosion control, 2001).

Bästa sättet att förankra markpartiklarna är att ha marken bevuxen så stor del av året som möjligt. Detta medför att växtföljder med mycket vall och höstsäd ger bra skydd mot vinderosion. Det är också bra att lämna kvar växtrester såsom halm och stubb på ytan vilket ytterligare minskar verkningarna av vinderosionen. Det anses att de flesta jordar är skyddade mot vinderosion om marken täcks till 30% av växtlighet eller skörderester. Det motsvarar ca 725-900 kg/ha (Internet, An introduction to water erosion control, 2001). Såbäddar med grovt bruk är bättre än såbäddar med fint. Åtgärder som både minskar vindens kraft samt ökar förankringen av markens partiklar ger bäst skydd mot vinderosion (Håkansson och Nilsson, 1963).

Vattenerosion. Vattenerosion skiljer sig från vinderosion genom att den sker i blöta förhållanden samt att det är vattnet som står för borttransporten av markpartiklarna. Annars är skadorna de orsakar snarlika och det är borttransporten av den viktiga matjorden som har störst negativ inverkan på den fortsatta odlingen. Vattenerosionens omfattning påverkas av regnets intensitet, markens kornstorlekssammansättning och struktur, fältets topografi samt vilken gröda som odlas där.

Som nämnts tidigare i avsnittet om igenslamning och skorpbildning bidrar regndropparnas slagkraft till att markytans struktur förstörs och slammar igen vilket i sin tur leder till försämrad infiltration (figur 25). När inte vattnet kan infiltrera längre kommer det att söka sig till lägre partier av fältet rinnande på markytan. Detta sker även vid mycket blöta förhållanden och när marken är så gott som vattenmättad vilket medför att vattnet inte kan infiltrera. Lösgrunda partiklar kommer att föras med vattenströmmen ned mot lägre partier där de antingen avsätts eller följer med ut till angränsande diken eller vattendrag (Sundborg, 1984).



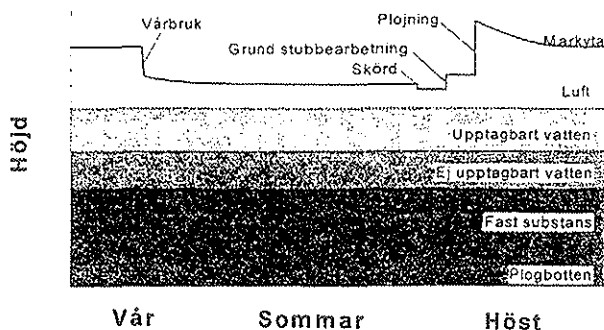
Figur 25. Hur en regndroppes nedslag kan se ut på en struktursvag jord (Hillel, 1998)

Liksom vid vinderosion sker det en utlakning av det finare materialet i matjorden och det grövre lämnas kvar. Håkansson och Nilsson (1963) tar upp vilka egenskaper som styr hur känsliga kornstorlekarna är för vattenerosion. Det är främst två egenskaper som har betydelse; hur lätt partiklarna kan skiljas från varandra (dispergera) och hur lätt de kan transporteras med vattnet. Ju finare partiklarna är desto mer svårdispergerade är de. Alltså skiljs t.ex. sand och mo lättare från varandra än lerpartiklar. Har väl ler och humuspartiklar frigjorts transporteras de dock mycket lätt iväg och behöver inte höga vattenhastigheter för att föras bort. Det är främst regndropparnas slag som bidrar till att partiklarna frigörs från varandra och kan föras bort i vattenströmmarna. De fina partiklarnas goda förmåga att transporteras med vatten gör att de ofta följer med vattnet ut från fälten och vidare till diken och vattendrag där de kan orsaka igenslamning och eutrofiering. Kvar lämnas grövre partiklar såsom sten, grus och sand.

För att komma ifrån problem med vattenerosion är det viktigt att ha marken beväxt eller täckt av växtrester så stor del av året som möjligt, det både förankrar partiklarna, saktar ner vattnets framfart och förbättrar infiltrationen. Detta är särskilt viktigt på fält som är kuperade samt på jordar som är struktursvaga eller har stort inslag av mo eller mjäla (Håkansson och Nilsson, 1963). Beroende på fältets topografi krävs olika mycket organiskt material för att förhindra vattenerosion. Lutar fältet 6-15% behövs det ca 630-1350 kg/ha, överstiger fältets lutning 15 % krävs någon form av permanent vegetation för att inte riskera vattenerosion (Internet, An introduction to water erosion control, 2001). Även en grundförbättring såsom dränering kan minska risken för erosion genom att förbättra infiltrationen. Liksom vid vinderosion är det bästa skyddet odling av fleråriga grödor såsom vall. Sämst är radodlade grödor såsom potatis och sockerbetor där vatten kan samlas i raderna och där det tar lång tid för beståndet att täcka och skydda markytan. Det har även utvecklats enkla jordbearbetningsmetoder för att minska erosionsrisken där en av de vanligaste är konturplöjning. Alla brukningssätt som minskar antalet bearbetningar såsom plöjningsfri odling och direktsådd anses minska erosionsrisken (Mattson, 1988)

Markpackning och antalet överfarter på fältet

Varje överfart på fältet medför att jorden packas i varierande grad. Vissa bearbetningar såsom plöjning och kultivering är luckrande, men endast i matjorden. Figur 26 visar hur matjordslagrets tjocklek varierar över året med olika bearbetningar. Viss återpackning efter luckring är positiv för att skapa god kontakt mellan frö och jord samt för att förbättra växtrötternas närings- och vattenupptag.



Figur 26. Matjorddjupets förändring under året på ett vårsått fält (Eriksson m.fl., 1974).

Tyvärr packas jorden ofta mer än nödvändigt vilket har negativ inverkan på markens bördighet. För att få ett mått på hur packad jorden är har man infört begreppet packningsgrad. Den bestäms med hjälp av en ödometer (se avsnittet om svårigheter att mäta markbördighet) och definieras som jordens torra skrymdensitet i procent av torra skrymdensiteten i samma jord efter att den har packats med 200 kPa. Är packningsgraden 100 eller högre anses jorden mycket packad. Efter att jorden har plöjts har den ofta en packningsgrad runt 65, efter plöjning sätter sig jorden och ett höstplöjt fält hamnar runt 80 på våren. Varje gröda har sin optimala packningsgrad vid vilken den ger bäst skörd, dock varierar denna efter yttre förhållanden. Under normala omständigheter har korn sin optimala packningsgrad runt 85 (figur 27). Packningens verkan kategoriseras efter om den var elastisk eller plastisk. Elastisk packning medför att marken kommer att återhämta sig och relativt snart återfå sin forna struktur. Den plastiska däremot kommer att vara mer långvarig och på tillräckligt djup kan dessa skador bli näst intill permanenta. Den plastiska deformationen sker under blöta förhållanden, svag aggregatstruktur, höga tryck samt under lång tid (Arvidsson och Pettersson, 1995).

Låg	Optimal packningsgrad		Hög
1. Ökad fuktighet under vegetationperioden	←		
2. Manganbrist	→		
3. Ökad kvävegödsling	→		
Potatis	Raps	Havre	Råg
	Åkerbönor	Ärtor	Vete
			Korn
			Sockerbeter

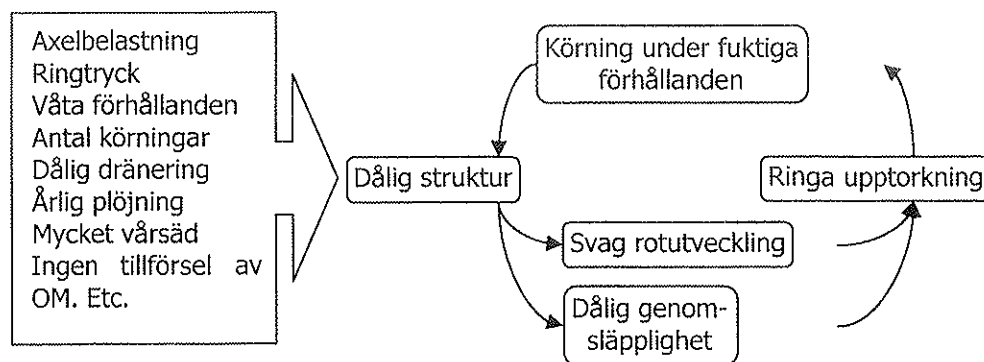
Figur 27. Faktorer som påverkar den optimala packningsgraden och grödornas inverkan i förhållande till varandra (efter Håkansson, 2000).

Vad som händer med marken vid packning

När marken packas trycks den samman vilket medför att den torra skrymdensiteten ökar och porvolymen minskar. Porstorleksfördelningen förändras och det är främst andelen makroporer som minskar. Vid ett dräneringsdjup på 1 meter är makroporerna (porer större än 0,03 mm) luftförande när fältkapacitet råder. Om jorden packas med ett trycktillskott runt 200 kPa (2 kg/cm²) kommer stor del av dessa porer att förstöras. Som tidigare nämnts står makroporerna för den huvudsakliga transporten av vatten och luft i markprofilen. Efter att marken packats så hårt kommer gasutbytet att minska drastiskt i ytlagret och risken för koldioxidförgiftning är hög (Arvidsson & Pettersson, 1995). Även infiltrationen försämras markant, vilket i sin tur medför risk för ytavrinning och sedermera troligen även erosion.

Packningen gör även att penetrationsmotståndet ökar i marken vilket försvårar rötternas framfart och tillväxt. Ett förhårdnat lager i markprofilen, t.ex. en plogsula göra att rötterna har svårt att komma ned till djupare lager och deras potentiella vatten- och näringsförråd minskar drastiskt. När rötterna får svårt att tränga fram blir deras utseende mer buskigt och de utsöndrar etylen. Etylen är en gas som hämmar tillväxten vilket ytterligare kan förvärra rötternas situation vid höga penetrationsmotstånd. Penetrationsmotstånd i mark som ligger runt 1,5 Mpa hämmar rötternas tillväxt markant och när jorden blir så packad att värden på uppemot 3 Mpa infinner sig avstannar rottillväxten nästan helt (Boone m.fl., 1994).

Packning gör även marken mer svårarbetad och det kan därmed krävas fler överfarter samt mer dragkraft för att uppnå liknande resultat som före packning. Såbädden blir gärna grövre vilket försvårar kontakten mellan frö och jord vilket därmed försämrar groningensegenskaperna (Håkansson, 2000). Figur 28 sammanfattar den onda cirkel som markpackningen kan orsaka.



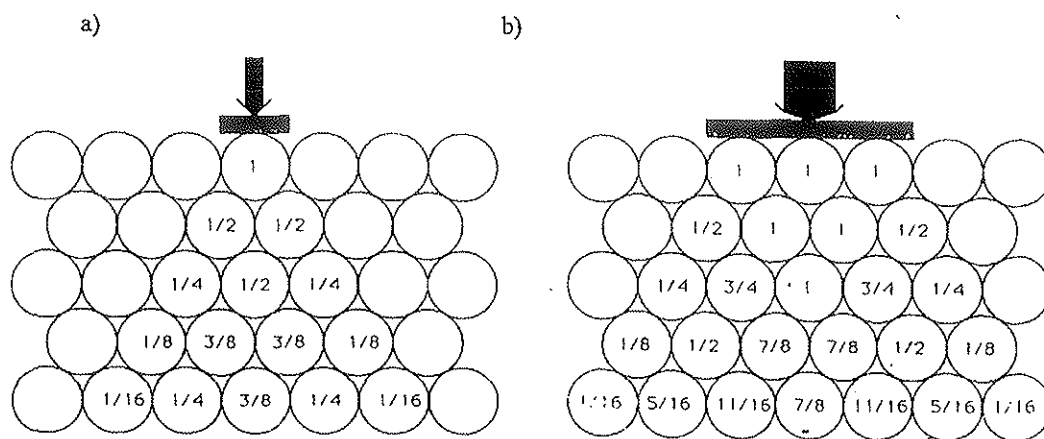
Figur 28. Schematisk modell över packningens onda cirkel vilken kan vara svår att komma ur (efter Håkansson, 2000) (OM = organiskt material).

Tryck och tryckfördelning i mark

Hur allvarlig packningen blir beror av flera faktorer. De viktigaste är däckens ringtryck, fordonets eller redskapets axelbelastning och hur blött fältet är vid körtillfället.

Tryckpåverkan i matjorden anses vara lika med däckutrustningens ringtryck. Om man liknar däckets vid en ballong så kommer anläggningsytan hos ballongen att öka mot ett underlag i förhållande till den kraft som läggs mot ballongen (däcket). Trycket mot anläggningsytan skulle aldrig bli högre än trycket (ringtrycket) inne i ballongen. Ett däck är dock inte lika elastiskt som en ballong utan är styvare i sin byggnad vilket medför att marktrycket är något högre än ringtrycket, framförallt vid låga ringtryck (Arvidsson & Pettersson, 1995). Figur 29 ger exempel på hur trycket fortplantar sig ned i marken vid likartade ringtryck men vid olika axelbelastningar. I a) är axelbelastningen lägre än i b) men det ger samma tryckpåverkan i matjorden, trycket fortplantas nedåt i marken varefter det klingar av. Den höga axelbelastningen i b) medför att trycket kommer att hålla i sig till ett större djup trots lika stort tryck i matjorden som i a).

Matjorden påverkas av ringtrycket medan alven påverkas av gällande axelbelastning. Gränsen mellan de två påverkansfaktorererna är inte klar utan relativt flytande. Generellt kan man säga att tryckverkan på djupet 0-25 cm i huvudsak härstammar från ringtrycket. På 25-50 cm samverkar ringtryck och axelbelastning medan det på nivåerna >50 cm endast är axelbelastningen som har någon betydelse för trycktillskottet (Arvidsson & Pettersson, 1995).



Figur 29. Tryckets fortplantning genom markprofilen. Ringtrycket är samma i båda fallen, men axelbelastningen är lägre i a) än i b). Tryckverkan i matjorden blir samma för båda, men den högre axelbelastningen har större tryckverkan på djupet (Arvidsson & Pettersson, 1974).

Som nämnts tidigare är marken känsligare för packning när den är blöt (se avsnitt om upptorkning). Detta beror på vattnets förmåga att fungera som smörjmedel mellan partiklarna. Det är främst trycktillskottet på djupet som ökar, vid blöta förhållanden kommer tryckets fortplantning att gå mer rakt ner än under torra förhållanden då trycket även sprids åt sidorna och snabbare avklingar med djupet (Arvidsson & Pettersson, 1995). Packningsgraden kommer även att öka snabbare vid färre antal överfarter om förhållandena är blöta. Lätta jordar behöver få en upptorkningsgrad som motsvarar 6-20 m.v.p (meter vattenpelare) i

vattenavförande tryck i matjorden innan de är lämpliga att köra på ur packningssynpunkt. Styvare jordar behöver däremot torka upp till en högre grad och uppnå vattenavförande tryck motsvarande 40-60 m.v.p., annars kan packningsskadorna ge förödande konsekvenser (Eriksson m.fl., 1974).

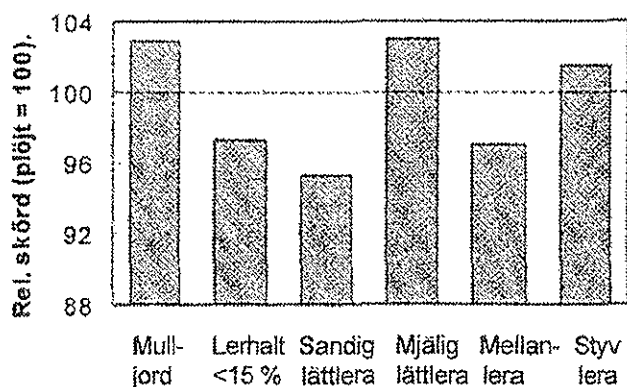
Packningens tidsaspekter

Packningsskador i matjorden kommer endast att bestå relativt kortsiktig om det i odlingssystemet ingår någon form av djupare luckring, såsom plöjning eller kultivering. I styvare jordarter med stort inslag av ler kan det dock ta upp emot 5 år innan verkningar från packningsskador försvinner. Jordar med enkelkornstruktur återhämtar sig däremot från år till år. Matjordens snabba återhämtning grundar sig dels i den årliga bearbetningen men också i yttre påverkansfaktorer såsom biologisk aktivitet, upptorkning/blötning och tjälning/tining som suddar ut packningens effekter.

Nere i alven kommer packningsskadorna att vara mer bestående. Detta beror på att alven är relativt steril och därmed har liten biologisk aktivitet. Det sker inte någon årlig luckring från bearbetningar och effekter från upptorkning/blötning och tjälning/upptining avklingar snabbt med djupet. Upptorkningen kan dock gå relativt djupt om växternas rötter har möjlighet att växa i hela profilen. Efter kraftig packning kommer de dock att ha betydligt svårare att tränga ned på djupet. Håkansson (2000) tar upp vid vilka axelbelastningar man kan förvänta sig skador till ett visst djup. Vid fyra tons axelbelastning kan skador uppstå ned till 30 centimeter. Sex ton ger skador ned till 40 cm, 9 ton till 50 cm och 12 ton till 60 cm. Packningsskador som sker på djup över 40 cm anses vara mycket svåra att komma till rätta med vilket medfört att det i Sverige inte rekommenderas att ha större axelbelastning än 6 ton (Håkansson 2000).

Plöjning är en av de bearbetningar som kan ge förödande skador i alven. Två av hjulen går hela tiden på matjordens botten där de packar direkt på alven vilket medför att skadorna kan gå relativt djupt även om axelbelastningen inte är så hög som vid andra körningar såsom stallgödselspridning eller sockerbetskörd. Det kan också vara relativt fuktigt i övre alven vilket medför att skadorna ytterligare kan förvärras. Vid fuktiga förhållanden är det inte bara packningen som kan förstöra strukturen utan risken för att traktorn skall slira vid arbetsmomentet ökar. När traktorhjulet slirar mot jorden kommer aggregatstrukturen att slitas sönder och dessutom kommer befintliga rot- och maskgångar att smetas igen (Håkansson 2000).

I odlingssystem där man ej använder sig av den djupare matjordsluckringen är det av ännu större vikt att använda sig av däcksutrustning som tillåter låga ringtryck. Här får man inte den årliga luckringen utan det bildas en tätare zon precis nedanför den djupast utförda bearbetningen som ofta består av en kultivering eller en tallriksharvning (figur 30). Aggregatjordar klarar av grundare bearbetning då rotkanaler och maskgångar är stabilare och bibehålls längre. Lättare jordar måste plöjas för att luckra övre jordlagret och därmed gynna rotutvecklingen då de inte bildar stabila vertikala kanaler (Mattson, 1988)



Figur 30. Relativ skörd vid jämförelse mellan konventionell bearbetning och plöjningsfri odling (Mattson, 1988).

Betydelsen av antalet överfarter

När packning utförs på laboratorier och jorden packas under en längre tid kommer inte jorden att kunna packas mer om endast samma tryck läggs på. Under fältförhållanden kommer inte marken att hinna packas i lika hög grad när ett hjul rullar över marken som när ett tryck får verka under en längre tid. Ökar däremot antalet överfarter kommer tryckverkan att öka tack vare att hjulen kommer köra över samma plats flera gånger. Vid upprepade överfarter i samma spår kommer varje fördubbling av tidigare överfarter att ge en lika stor minskning i volym som de tidigare överfarterna (Håkansson, 2000). Ju fler överfarter som görs på ett fält desto större är risken att bearbetningarna görs vid ogynnsamma förhållanden t.ex. när fältet är blött.

I Sverige används måttet ton km/ha för att åskådliggöra antalet överfarter på ett fält samt med vilken belastning de gjordes. Måttet beräknas genom att vikten på ekipaget i ton multipliceras med 10 samt divideras med arbetsbredden i meter (se ekvationen nedan).

$$\text{Antalet tonkm / ha} = \frac{\text{Ekipagets vikt i ton} \times 10}{\text{Arbetsbredden på redskapet i m}}$$

Måttet medger att man kan jämföra olika bearbetningar och olika maskinsystem med varandra för att se vilket som belastar jorden mest. Belastningsfrekvensen varierar mycket mellan grödorna, spannmål och oljeväxter brukar hamna runt 120-150 ton km/ha med normala bearbetningssystem. Bärgar man dessutom halmen och sprider stallgödsel kan man komma upp i värden som överstiger 200 ton km/ha. Rotfrukter såsom potatis och sockerbetor har betydligt högre bearbetningsintensitet vilket gör att deras värden kan komma upp till hela 400 ton km/ha. Vallen som kan verka som en positiv gröda i växtföljden har relativt hög andel överfarter på fältet och dess värden kan uppgå till 350 ton km/ha (Håkansson, 2000). I tabell 4 redogörs för olika gröders typiska tonkm/ha.

Av tabellen kan utläsas att en högre axelbelastning i kombination med en bredare arbetsbredd kan ge samma antal körda tonkm per ha. Packningsskadan i alven kan dock vara betydligt högre för ekipaget med hög axelbelastning.

Tabell 4. Antalet tonkm/ha för några vanliga bearbetningar och grödor (efter Håkansson, 2000).

Arbete	Vikt traktor (ton)	Arbetsbredd (m)	Anmärkning	Belastning (tonkm per ha)
Plöjning	4	1,2	3-skär	35-50
	7	2,4	6-skär	30-45
1 harvning	5	6	enkla hjul	9-12
	5	6	dubbelmontage	9-12
Kombisådd	5	3	dubbelmontage	25-35
Skördetröskning	9-12	4,5		28-38
Sockerbetsskörd	12-18	1,5	3-radig	120-160
	20-40	3	6-radig	120-160
Flytgödselspridning			regelbundna fält	15-60
			oregelbundna fält	30-110
Totalt under året			spannmål&oljeväxt	100-220
			Rotfrukt&potatis	200-400
			Vall 3-skördar	180-350

Åtgärder för att minska packningen

Den viktigaste åtgärden för att komma till rätta med packningsproblemet är att inte köra när marken är våt. För att förlänga de perioder då fältet har idealiska förhållanden för bearbetning bör man se till så att man har en väl fungerande dränering. Fördelaktigt är dessutom att odla grödor som inte är beroende av bearbetning under perioder då risken är stor för otjänliga förhållanden samt att välja grödor med god upptorkningsförmåga såsom vall och höstgrödor.

Vidare är det viktigt med en god anpassning av redskapsstorlek till traktorstorlek. Fyrhjulsdriven traktor är att föredra framför tvåhjulsdriven och man bör använda dubbelmontage i så stor utsträckning som möjligt samt ha låga ringtryck. Eftersom möjligheterna att variera ringtrycket ute i fält är begränsade bör olika fordon användas på fält och på väg eftersom de ofta kräver olika ringtryck med tanke på köregenskaperna. Man bör även komprimera körsträckorna på fältet samt försök att kombinera körningar så långt det går. Att utnyttja tiltpackare på plogen samt kombisådd sparar mycket körningar och tid på fältet. Det är mycket viktigt att planera körningarna vid vallskörd samt stallgödselspridning då det annars kan bli många onödiga överfarter på fältet med tomt respektive fullt ekipage. Måste man köra på fältet är fasta körspår och fältvägar för transport att föredra.

MARKSTRUKTURINDEX

Markstrukturindexet, som utvecklats av agr. dr. Kerstin Berglund och professor emeritus Waldemar Johansson vid Institutionen för markvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet, består av tre delar. En grundförbättringsdel där effekterna av olika långsiktiga engångs-åtgärder bedöms, en odlingsystemdel där effekterna av brukarens årliga åtgärder värderas och ett enkelt markstrukturtest i fält. Samtliga data och beräkningar är samlade i en datormodell. Modellen är uppbyggd i Excel och består av ett antal kalkylblad där användaren fyller i gårdens förutsättningar, odlingsystem och resultat från fälttesterna. Programmeringen i Excel är gjord av agr. Örjan Berglund vid Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet under sommaren 2001.

Parametrarna i indexet har viktats utifrån de siffror som erhållits från de olika gårdarna indexet testats på. Dessa data är sammanfattade i bilaga 2. Där redovisas även indexresultaten de sex utvalda parametrarna ger upphov till hos gårdarnas odlingsystem.

Gårdens förutsättningar och odlingsystem

Första delen av modellen utgörs av ett antal kalkylblad där användaren fyller i gårdens förutsättningar och odlingsystem. I bilaga 1 finns exempel från Wiggeby gård utvisande hur varje enskilt datablad i modellen ser ut. På det första kalkylbladet väljs gårdens geografiska läge utifrån sju olika odlingsområden som följer Statistiska centralbyråns indelning av Sverige i skördeområden. Längre ned på kalkylbladet skall maskinparken redovisas. Först anges gårdens traktorer, deras vikt i kilo och ringtryck i kg/cm^2 för bakaxeln. Sedan redogör man för de maskiner och redskap som används inom växtodlingen på gården. För varje maskin och redskap ifylls vikt, arbetsbredd i meter, antalet axlar och deras ringtryck samt redskapets möjliga lastvikt (om det har någon) i kilo. Anledningen till att man redogör för maskinparken är att den kommer användas i en packningsdel längre fram i modellen.

På modellens andra blad skall man redogöra för gårdens förutsättningar. För varje enskilt skifte redovisas jordarten för matjord och alv, mullhalten (matjorden), arrondering och skiftets dränering. Jordarterna har delats in i 13 olika klasser (tabell 5). Indelningen medför att jordarterna kan tilldelas kategoriska egenskaper för till exempel upptorkning från olika grödor och dräneringsbehov i indexet. Mullhalten fylls i för sig och har delats in i sju klasser enligt måttligt mullhaltig, mullhaltig, o.s.v. (tabell 8). Arronderingen är indelad i tre olika klasser, regelbunden, något oregelbunden och till sist oregelbunden där oregelbunden är den mest ojämna. Fältets dränering är uppdelad i följande typer: systemtäckdikat, behovsdikat, turbulerat eller ingen dikning.

Efter att man fyllt i skiftets förutsättningar är det dags att gripa sig an odlingssystemet. Varje år i växtföljden behandlas på ett enskilt kalkylblad. I kalkylbladet ska för varje skifte redogöras: vilken gröda som odlas; om man tillfört något organiskt material; så-, uppkomst- och skördedatum samt skördenivåer. Modellen tar även hänsyn till årsmånen för respektive år som är uppdelad i vår, sommar och höst. Här kan man välja om årstiden varit varm/torr, kall/våt eller normal för området. Om uppgifter saknas finns det för många grödor "normalvärden för området" som kan hämtas i en databas.

Hur modellen hanterar odlingssystemet

Utifrån gårdens förutsättningar och odlingssystemet gör modellen en bedömning av hur odlingssystemet påverkar markens struktur. Utgångspunkten är tre positiva faktorer och tre negativa faktorer. De positiva faktorerna utgörs av växternas rotproduktion, tillförsel av organiskt material samt upptorkning av markprofilen. De negativa faktorerna utgörs av andel bar ofrusen mark över året, markpackning i alven och antalet överfarter på fältet. Viktningen av varje faktor görs enligt följande. Utgångspunkten är att varje faktor i princip skall ha samma tyngd i indexet. Max- respektive minimivärde för varje faktor sätts till 10 respektive 0. Emellertid har alvpackning fått en större tyngd än övriga faktorer (maxvärde = 13,3) och överfarterna får en mindre tyngd (maxvärde = 6,7). Nedan beskrivs hur modellen hanterar data utifrån gårdens förutsättningar och odlingssystem i de olika delarna.

Växternas rotproduktion

Rotmängden som produceras är beräknad utifrån typ av gröda och dess skördenivå, där avkastningen uttrycks i kg ts (torrsubstans)/hektar. Antingen skriver man manuellt in en känd skördenivå eller så låter man siffran hämtas ur en databas över medelskörden i området. Skördenivån multipliceras sedan med en faktor som beror på typen av gröda (se nedan). Faktorn är beräknad utifrån de uppskattningar som Johansson (1994a) gjort (se kapitlet om rotmängd). Rotmängden antas vara direkt proportionell mot skördenivån.

Rotmängd (kg ts/ha) = avkastning (kg ts/ha) × faktor mellan 0,04-1,75

Viktning i indexet. Minsta rotmängd som kan produceras är 0. Som högsta värde har 15000 kg antagits vara rimligt. Rotmängden, omräknad till ton ts/ha, multipliceras med 0,67 för att faktorn ska variera mellan 0 och 10.

Tillförsel av organisk substans

Mängden organisk substans ovan mark är summan av (Grödans ovanjordiska produktion) – (ev. bortförd halm) + (tillfört organiskt material) där allt anges i kg ts/ha.

Produktionen från grödans ovanjordiska delar beräknas utifrån grödan och avkastningen. Avkastningen multipliceras med en faktor som varierar beroende på grödtype. Se nedan.

Halm + boss (kg ts/ha) = avkastning (kg ts/ha) × faktor mellan 0,21-5,8
Bladfall + spill (kg ts/ha) = avkastning (kg ts/ha) × faktor mellan 0,05-0,17

Halmhanteringen inverkar på mängden halm som blir kvar på marken efter grödan. Anger man att halmen lämnas kvar på fältet används halmmängden som erhållits i beräkningarna ovan. Anger man att halmen förs bort antas att 1/3 av produktionen (stubb och boss) blir kvar och 2/3 av produktionen försvinner.

Externt organiskt material som tillförts, t.ex. stallgödsel, rötslam osv. är ytterligare en del av parametern. Man anger mängd, typ, och ts-halt på tillfört organiskt material. Utifrån dessa data beräknas mängden i kg ts/ha. I modellen finns även schabloner på ts-halter för vanliga gödselslag, som kan utnyttjas om siffran är okänd.

Viktning i indexet. Minsta mängd organisk substans som kan produceras/tillföras är 0. Den största rimliga mängden har antagits vara 20000 kg. Denna del ska väga lika tungt som rotmängd och upptorkning i indexet och ska därför variera mellan 0-10. Därför multipliceras mängden organiskt material, omräknad till ton ts/ha, med faktorn 0,50.

Upptorkning av markprofilen

Indexet tar hänsyn till fyra faktorer som påverkar markens uttorkning. Faktorerna är, jordart, aktuell gröda, var någonstans man befinner sig i landet (skördeområde) samt vädret. För att begränsa antalet parametrar har jordarterna indelats i 13 olika klasser och grödorna i de fem huvudgrupperna vårsäd, höstsäd, vall, potatis och sockerbetor, för vilka man räknat fram maximalt förråd av växttillgängligt vatten i rotzonen (se tabell 5). Som nämnts tidigare varierar detta förråd med hur väl jorden är lämpad för god rottillväxt och hur hårt vattnet är bundet i marken. Hänsyn tas även till växternas förmåga att tränga ned på djupet och till hur bra de är på att ta upp vatten.

Tabell 5. De olika grödornas maximala förråd av växttillgängligt vatten i (mm) på olika jordar (Berglund, pers. medd., 2001)

	Höstsäd	Potatis	Sockerbetor	Vårsäd	Vall
Mycket styv lera	58	-	-	56	62
Styv lera, ej rotspärr	87	-	-	76	104
Styv lera, rotspärr	60	-	-	57	62
Mellanlera, ej rotspärr	115	-	-	99	136
Moränmellanlera, ej rotspärr	97	-	114	84	114
Mellanlera och moränmellanlera, rotspärr	71	-	74	68	74
Lättlera	93	85	95	87	95
Moränlättlera	100	69	107	86	107
Lerig finmo	130	110	139	119	139
Lerfria och svagt leriga jordar	71	71	71	71	71
Kärrtorvjord	-	241	-	241	241
Mosstorsjord	-	-	-	97	97
Gyttjeyord	-	169	-	169	169

Klimatdata, nederbörd och avdunstning för olika skördeområden i landet härrör från en vallodlingsmodell (PC-vall) vilken utvecklats vid SLU av Fagerberg och Nyman (1991). Det är endast perioden mellan den 20/3 och 6/10 som utnyttjas i indexet och före respektive efter detta datum anser man att det inte sker någon avdunstning från växterna. Vallen är den gröda som utnyttjar hela perioden. Höstsäd och vall klarar att utnyttja 50 procent av det maximala förrådet växttillgängligt markvatten redan i början av växtsäsongen medan vårsådda fält endast har tillgång till 20 mm vid växtstart. När grödan har full marktäckning räknar man med att vattenupptaget är som störst.

Markvattenmodellen som från början är amerikansk har modifierats av Ragnar Persson vid Avdelning för hydroteknik, Institutionen för markvetenskap, SLU för att passa svenska förhållanden. Modellen som visar hur mycket vattenförrådet i marken minskar eller ökar (vid nederbörd) med tiden vartefter grödan växer. Antal dagar med stark uttorkning beräknas utifrån det antal dagar då det växttillgängliga markvattenförrådet understiger 50 % av det maximala förråd som den bästa grödan (vanligtvis vall) kan utnyttja för gällande jordart.

I indexet kan man även lägga in en årsmånsklassning som visar hur vädret varit under växtodlingssäsongen. För beräkning av antalet torkdagar tar modellen endast hänsyn till vilket väder det är under sommaren. Det är uppdelat på tre "typväder": kall/våt, normal och varm/torr. Hur stor avdunstningen och nederbörden är under kalla/våta och varma/torra somrar beräknas utifrån en standardavvikelse för ett normalår vilket i korthet innebär att torra och varma år ger fler torkdagar än år som är blöta och kalla.

Viktning i indexet. Andelen torkdagar över året kan inte vara färre än 0 och deras maximala värde är uppskattat till 150, dvs. hela vegetationsperioden ger upphov till torkdagar. För att det maximala värdet skall hamna på tio (skala mellan noll och tio) behöver det multipliceras med $10/(150/365)=24,3$. Antalet torkdagar delas med 365 för att få andelen över ett år.

Andel bar ofrusen mark över året

I indexet anses marken vara skyddad då den är tjälad, snöbelagd eller beväxt med en gröda. Ettåriga vårsådda grödor kommer på detta sätt få en barmarkspanneriod som sträcker sig från det att marken tinar upp på våren till dess att grödan har kommit upp och ger fullgod marktäckning. Tiden från uppkomst till grödan täcker marken varierar från gröda till gröda. Stråsädesgrödor anses täcka marken efter sju dagar medan det för oljeväxter tar 15 dagar och radgrödor såsom potatis och sockerbetor behöver 25 dagar att täcka marken. Under sommaren fungerar växttäcket som ett skydd men efter skörd kommer jorden återigen att läggas i barmark. I indexet räknar man med att fältet stubbearbetas två dagar efter skörd och om nästa gröda skall vårsås kommer barmarkspannerioden sträcka sig tills tjälen eller snön kommer under hösten. Kommer fältet däremot att höstsås varar endast barmarkspannerioden fram till dess att höstgrödan ger fullgott skydd. Fleråriga grödor såsom vall anses ge fullgott skydd hela året.

Johansson (1974) har gjort en sammanställning av väderdata från SMHI under perioden 1931 till 1960. Det är dessa data som ligger till grund för hur långvarig snö- och tjälperioden är i de olika produktionsområdena. I indexet kan man även välja årsmånsklassning för vår, sommar och höst för att kunna få med skillnaden mellan olika år. Årsmånsklassningen påverkar hur långvarig perioden med snö och tjäle är under vintern samt vid vilken tidpunkt sådd och

uppkomst sker under vår och höst om indexet använder sig av normalförhållandena för varje produktionsområde. Om datum för sådd och uppkomst finns utnyttjas dessa värden.

Viktning i indexet. Viktningen har gjorts utifrån parametrarnas minsta och största värde. Antalet dagar med bar, ofrusen mark över året kan inte vara färre än 0. Dess maximala värde sattes till 280 (t.ex. en sent sådd sockerbetsgröda som måste skördas tidigt). För att det maximala värdet skall hamna på tio i indexet behöver det multipliceras med $10/(280/365)=13$. Antalet dagar med bar ofrusen mark delas med 365 för att få andelen över ett år.

Markpackning och antal överfarter

I indexet används en markpackningsmodell, framtagen av Lars Törner i projektet Odling i balans i samarbete med Avdelningen för jordbearbetning, Institutionen för markvetenskap, SLU samt Danisco AB. Modellen har modifierats något för att bättre passa in i indexet. Varje bearbetning för det aktuella skiftet under året läggs in, för att man ska kunna jämföra mellan olika grödor och år. Modellen tar hänsyn till traktorns och redskapets axelbelastningar samt hjulens ringtryck.

På traktorn är det den bakre axeln som anses orsaka mest packning vilket gör att modellen endast beaktar packningsverkan från denna axel. Man kan ställa in hur stor procentuell del av traktorns totalvikt som vilar på bakaxeln samt hur stor del av redskapets vikt som kommer att läggas till, vanligtvis anses 20 procent av redskapets vikt ligga på bakaxeln (gäller givetvis inte helburna redskap). Belastningarna läggs ihop och modellen beaktar även ringtrycket för att visa om axelbelastningen överskrider en viss kritisk nivå. Nivån är satt till sex ton vid körning på matjord men endast till 3 ton vid plöjning (då två av hjulen går på övre alven), vid ett däckstryck som ligger vid $1,5 \text{ kg/cm}^2$. Vid lägre ringtryck kommer modellen att kompensera detta genom att höja den kritiska nivån för axelbelastningen, låga ringtryck tillåter alltså en högre axelbelastning innan den anses skadlig. All vikt från axelbelastningen som överstiger den kritiska nivån anses orsaka packningsskador.

Hur stor vikt som ligger på traktorns bakaxel varierar med vilken typ av arbete den utför. Vid användande av redskap som utför någon form av jordbearbetning där traktorns funktion är att dra redskapet kommer traktorns tyngdpunkt att skjutas mot bakaxeln. Andelen av vikten som förskjutas mot bakaxeln beror på traktorns tyngdpunkt från början, samt på hur tungt redskapet är att dra. I modellen kompenseras detta med en faktor som tagits fram i diskussion med Johan Arvidsson (pers. medd., 2001). Traktorns ursprungliga vikt på bakaxeln multipliceras med en faktor som har satts till 1,5 vid plöjning, 1,35 vid djupkultivering och 1,25 vid harvning. (Arvidsson, Håkansson & Törner, pers. medd., 2001). Redskapet som följer efter traktorn behandlas separat i modellen och här tas även hänsyn till en belastningsfaktor samt körsträckefaktor utöver axelbelastningar och ringtryck.

Belastningsfaktorn behandlar problematiken med att lasten på vissa körningar såsom till exempel stallgödselspridning och tröskning inte är maximal hela tiden utan förändras under körningen. Faktorn bestäms utifrån hur stor del av lasten som överstiger den kritiska axelbelastningen, varefter den multipliceras med axelbelastningarna. Storleken varierar mellan noll och ett, där ett är siffran som ges om lasten är maximal hela tiden (se exempel 1 nedan).

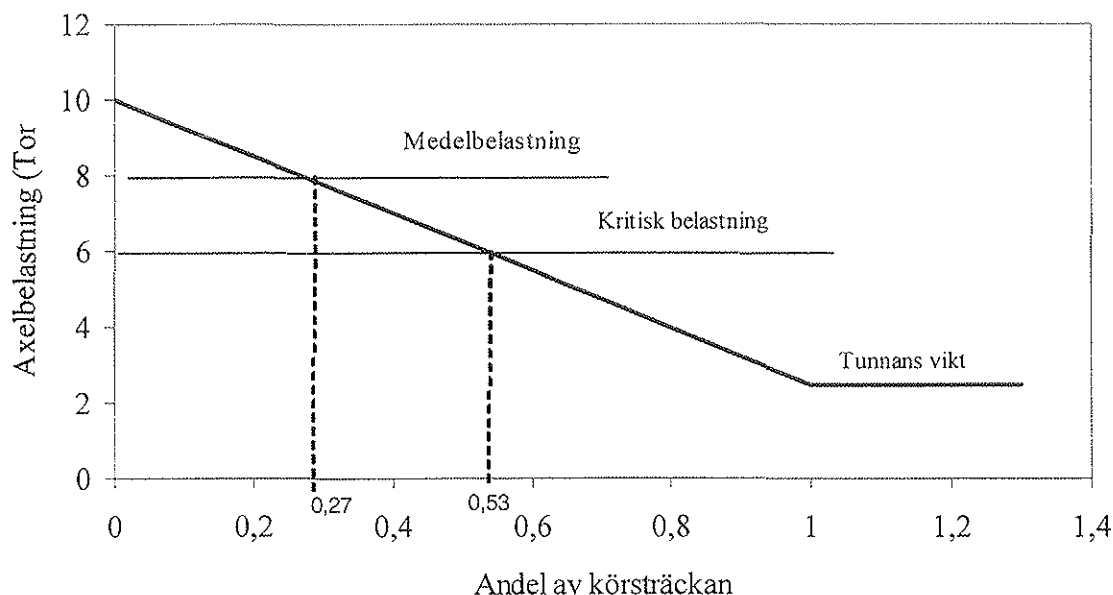
Exempel 1. Beräkning av belastningsfaktor (något förenklad)

Svämtunna Vikt: 5 ton (tom). Lastvikt: 15 ton. Totalvikten vid full last är alltså 20 ton. Tunnan har två axlar. Däckens ringtryck är $1,5 \text{ kg/cm}^2$. Vid detta ringtryck är gränsen för den kritisk belastningen bestämd till 6 ton (per hjulaxel).

Om gödseltunnan hade full last hela tiden skulle den orsaka alvpackning med (totalvikten - kritisk belastning för axel 1 & 2), d.v.s. $(20-12)=8$ ton. Tunnans vikt minskar efter hand som gödseln sprids ut under körningen på fältet. Detta innebär att axelbelastningen gradvis minskar och så småningom kommer att understiga den kritiska belastningen (se figur nedan).

Den del av körsträckan som tunnan orsakar packning beräknas per axel. De ovan nämnda viktuppgifterna får därför delas med två (axlar). Vid *full last* är totalvikten 10 ton, lastvikten 7,5 ton och 4 ton orsakar alvpackning. När tunnan töms under körningen minskar lastvikten gradvis, och därmed minskar även den vikt som orsakar alvpackning. Den del av körsträckan som tunnan orsakar alvpackning beräknas som maxöverbelastningen dividerat med maxlastvikten. Tunnan kommer alltså orsaka packning $(4/7,5) = 0,53$ delar av körsträckan på fältet.

Belastningsfaktor beräknas som den genomsnittliga belastningen för den del av körsträckan som utsätts för alvpackning. I detta fall blir överbelastningen i medel $(4/2) = 2$ ton, vilket innebär att belastningsfaktorn blir $(2/7,5) = 0,27$. Det är denna faktor som det i modellen erhållna antalet alvpackande tonkm/ha multipliceras med.



Körsträckefaktorn är ett sätt att kompensera för de dubbla överfarter som görs på oregelbundna fält p.g.a. deras form. För regelbundna fält kan faktorn ligga nära ett, men vid stallgödselspridning på ett oregelbundet fält kan den komma upp i hela tre. För att behandla gårdarna sattes en standard för hur faktorn skulle variera med olika förutsättningar (tabell 6).

Tabell 6. Körsträckefaktorns variation med förutsättningarna

Typ av körning	Körsträckefaktor	
	Regelbundet fält	Oregelbundet fält
Fasta körspår, (spruta, gödning etc.)	1,2	1,4
Ej körspår, (harvning, kultivering etc.)	1,4	1,6
Risk för tomkörningar, (stallgödselspridning och vall)	2,0	2,5

Resultatet anges i tonkm/ha och det är endast de bearbetningar som ger skadlig packning i alven som kommer att räknas in i indexet. För att se hur nära andra överfarter på fältet ligger den kritiska axelbelastningen, redovisas emellertid alla överfarter även om de ej förorsakar alvpackning.

Antalet överfarter för varje åtgärd fylls också i och summeras för att visa hur många överfarter som gjorts på fältet under det aktuella året. Anledningen till att man räknar antalet överfarter på fältet är att vid stor mängd överfarter ökar risken för att lantbrukaren skall köra då förhållandena är mindre gynnsamma. Antalet överfarter kan också ses som ett sätt att bedöma risken för matjordspackning.

Viktning i indexet. Denna har gjorts utifrån parametrarnas minsta och största värde. Alvpackning och antal överfarter på fältet kan inte anta värden lägre än 0. Deras maximala värden sattes till 60 för packning och 20 för antalet överfarter. För att det maximala värdet skall hamna på 13,3 för packningen i indexet behöver det multipliceras med $13,3/60=0,222$. För att det maximala värdet för antalet överfarter ska hamna på 6,7 i indexet behöver det multipliceras med $(6,7/20)=0,335$

Grundförbättringsindex

Denna del är inte helt färdigutvecklad än. I dagsläget är den uppdelad i tre delar, dränering, mullhalt och markstruktur. Dräneringsdelen behandlar vilket typ av dräneringssystem man har och om det föreligger något dräneringsbehov. Mullhalten i marken och markstrukturen klassas. Klassningen för markstrukturen baseras på spadttestet som ingår i fälttestet.

Datormodellens redovisning av resultaten

I excelmodellen redovisas resultaten separat för några delar såsom grundförbättringar, odlingssystem och markpackning. Dessutom redovisas ett helhetsresultat för gården där hela växtföljden samt resultat från grundförbättringsdelen ingår.

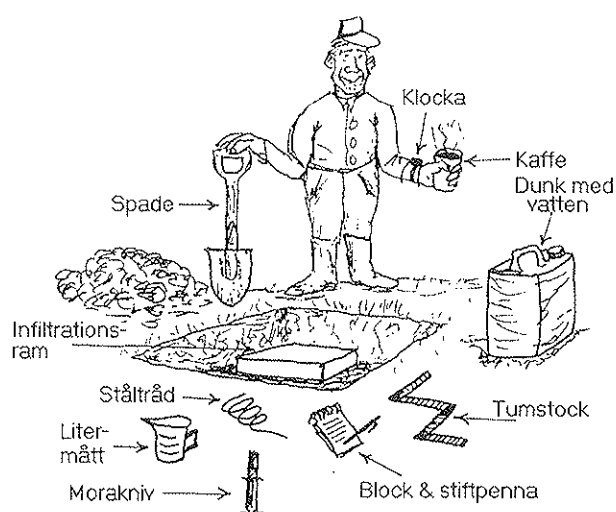
Markstrukturtest i fält

Syftet med fälttestet är att man ska lära känna odlingsjordarna bättre genom att undersöka markstrukturen i fält med enkla metoder som inte kräver specialutrustning. Testet består av flera delar, vilka valts ut av Berglund (pers. medd., 2001):

- allmän profilbeskrivning och jordartsbestämning
- markstruktur och förtätade zoner
- rotutveckling, porer och maskförekomst
- markens infiltrerbarhet.

Den utrustning som krävs för markstrukturtestet är följande (figur 31):

- spade
- tumstock
- kniv
- dunk med vatten
- litermått
- infiltrationsram
- klocka eller tidtagningsur
- stiftpenna, ståltråd, borrar/sats eller dylikt att jämföra porstorlekar med.



Figur 31. Markstrukturtest i fält (illustrerat av Johansson, 2001).

Man gräver två gropar på varje fält för hand, en på en bra plats och en på en dålig (t.ex. vändtegen). De bör ha ett djup av ca 50 cm, gärna mer om rötterna sträcker sig djupare. Den sida i gropen man tittar på för att beskriva profilens utseende kan skrapas med t.ex. en morakniv så att profilens karaktärsdrag syns tydligt. Markytan på denna sida av gropen ska man hantera varsamt så aggregaten inte förstörs. Man bör inte lägga jord där, gå på den o.s.v. Testet ska vara ett sätt att se förändringar i markstrukturen, och man bör därför återkomma regelbundet till ungefär den plats man tidigare grävt på. Det är inte bra att pricka in exakt samma plats, eftersom markprofilen där förändrats av den föregående grävningen. För att jämförelser ska fungera bör man helst gräva vid samma plats i växtföljden, eller åtminstone i samma gröda, och vid samma tidpunkt på året. Allra bäst är naturligtvis att återkomma årligen och verkligen lära känna sin jord och hur den beter sig vid olika årsmånar, med olika grödor och bearbetningar.

Marken uppvisar olika egenskaper vid torra och våta förhållanden. Generellt kan man säga att testet fungerar bäst när marken är fuktig (men inte blöt) vid utförandet. Gropgrävning på våren efter vårbruket är relativt lätt. Man kan få en bra bild av markstrukturen och eventuellt förtätade skikt (t.ex. plogsula). Är man speciellt intresserad av att studera grödans rotutveckling, vilket indirekt kan säga en del om markstrukturen, är det bäst att gräva mot slutet av sommaren. Protokoll för profilbeskrivning finns i bilaga 3.

Allmän profilbeskrivning och jordartsbestämning

För den allmänna *profilbeskrivningen* mäter man matjordsdjup, och om det finns en plogsula anger man dess tjocklek samt hur utvecklad man anser den vara: något, medel eller kraftigt. Därefter beskrivs markprofilens särdrag och jordart (uppdelat i matjord, plogsula och alv).

Jordarten bedöms genom att man tittar och känner på den. Lerhalten bestäms genom ett s.k. utrullningsprov. Man fuktar lite jord och knådar den tills den slutar klibba. Sedan rullar man den snabbt och med tryck mot ett plant underlag, eller i handen, till en så tunn tråd som möjligt. Trådens tjocklek när den börjar brista är ett mått på lerhalten (tabell 7). Organogena jordar bestäms efter egenskaper som klibbighet, brottyta o.s.v. (tabell 8). Bestämning av grövre jordarter som mjäla, mo och sand är lättast om man har en typsamling att jämföra med.

Tabell 7. Schema för jordartsbestämning i fält för mineraljordar (Kungliga Lantbruksstyrelsen, 1965)

Jordart (kornstorlek, mm)	Lerhalt (%) resp org halt	Utrullningsprov (trådtjocklek)	Färg i torrt tillstånd hos alvjorden
Grus (2-20)	<2	Kan ej rullas	Som rödaktig sand
Sand (0,2-2)	<2	Kan ej rullas	Som rödaktig sand
Moränsand	2-5	Kan ej rullas	Som rödaktig sand
Grovmo (0,06-0,2)	<2	Kan ej rullas	Ljusgrå eller med svag sandfärg
Finmo (0,02-0,06)	<2	4-6 mm	Ljusgrå
Moränmo	2-5	4-6 mm	Ljusgrå
Mjäla (0,002-0,02)	2-5	4-6 mm	Gråvit
Leriga jordar	5-15	ca 3 mm	Ljusgrå
Lättlera	15-25	ca 2 mm	Ljusgrå
Mellanlera	25-40	1-1,5 mm	Tämligen ljust grå eller ljust rödbrun
Styv lera	40-60	1 mm	Grå, gråbrun eller rödbrun
Mycket styv lera	>60	< 1 mm	Mörkgrå eller mörkt gråbrun

Tabell 8. Schema för jordartsbestämning i fält för organogena jordar (Berglund, pers. medd., 2001)

Jordart	Org. halt (%)	Egenskap	Färg hos alvjorden
Gyttjelera*	1-6 % gyttja	Kort brott, grynig, tärningar, klibbar	Grå, svagt grönaktig,
Lergyttja*	6-30 % gyttja	Kort brott, klibbar, något elastisk	Grönaktigt gulgrå/blågrå, vitnar vid torkning
Gyttja*	>30 % gyttja	Tät, klibbar ej, mindre elastisk	Brun, brungrön, mörknar i luft, men ljusnar åter vid torkning
Kärrtorvjord	>30% org mtrl	Näringsrik	Gul→svart, beror av förmultningsgrad
Mosstorvjord	>30% org mtrl	Näringsfattig	Gul→svart, beror av förmultningsgrad

* permanent sprickbildning i alven

Mullhalten bedöms efter jordens färg; ju mörkare jord desto högre mullhalt, och anges efter olika mullhaltsklasser (tabell 9).

Tabell 9. Mullhaltsschema (Ekström, 1927 & Jordartsnomenklatur, 1953)

Benämning	Förkortning	Halt org mtrl (%)
Mullfattig	mf	<2
Något mullhaltig	nmh	2-3
Måttligt mullhaltig	mmh	3-6
Mullrik	mr	6-12
Mycket mullrik	mkt mr	12-20
Mineralblandad mulljord	t ex sa M	20-30
Mulljord	M	>30

Det kan vara svårt att göra en riktig bedömning av mullhalten då en finare jord ser mörkare ut än en grövre vid samma mullhalt. Ofta sker en anrikning av organiskt material i svackor där marken är fuktigare och nedbrytningen går långsamt. Detta leder till högre mullhalt i svackorna än på högre belägna platser i landskapet. På många gårdar har man utfört kemisk markkartering där någon form av jordartsanalys ingår. Denna kan vara till stor hjälp vid jordarts- och mullhaltsbestämningar.

Markstruktur och förtätade zoner

Själva momentet att gräva gropen (figur 32) ger i sig mycket information om markstrukturen och förtätade zoner, vilket påvisar de förutsättningar växten har att etablera ett gott rotsystem. Är det svårt att gräva så är det oftast svårt för rötterna att ta sig fram. Om marken är mycket torr kan det dock vara stenhårt att gräva även i de bästa jordar. På vissa moränleror, t.ex. i Skåne, kan spaden möta stort motstånd trots goda växtbetingelser.

När man gräver gropen noterar man hur pass svårt det är att få ner spaden i matjord, eventuella täta skikt och alven. Antalet tramp som behövs för att få ner spaden används som en indikation på markens struktur (tabell 10).



Figur 32. En spadfull jord.

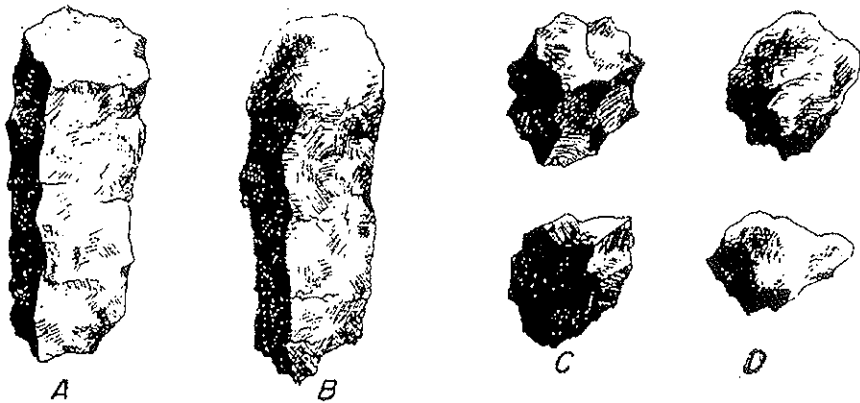
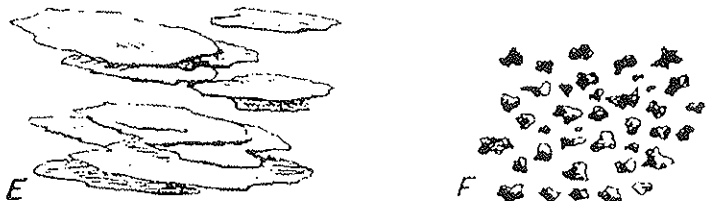



Tabell 10. Koppling mellan antal trampningar vid grävning och markstruktur (Saavalainen, 1987)

Antal trampningar	Markstruktur
0	mycket lucker
1	lucker
2	något lucker
3	något tät
4-5	tät
6-7	mycket tät
>7	extremt tät

Utöver jordart och markfukt inverkar även vikt och styrka hos personen som gräver, spadens utformning m.m. på resultatet. Det blir därför en ganska grov uppskattning. Eventuellt kan man behöva kalibrera skalan efter förutsättningarna. Det viktiga är att man upptäcker om förbättringar eller försämringar i markstrukturen uppstått mellan olika provtillfällen.

Markens uppbyggnad studeras sedan lite mer ingående. Man gör en allmän *strukturbeskrivning* där man anger om jorden har enkelkornstruktur eller aggregatstruktur. Man skiljer också på om jorden är massiv (helt sammanhängande utan sprickor) eller består av stora kokor. Om det finns enskilda aggregat beskrivs deras form (tabell 11), stabilitet (tabell 12), och storlek (diameter i cm eller mm) (se exempel på profilbeskrivning i figur 33). Tabell 13 visar på ett alternativt sätt att beskriva aggregaten på.

Tabell 11. Beskrivning av aggregatens form (Soil Survey Staff, 1975)

Aggregatens form					
A	Prismatiska (skarpa hörn)				
B	Kolumnära (runda hörn)				
C	Fragment (skarpkantade)				
D	Fragment (avrundade)				
E	Skiviga (plattlika)				
F	Granulära (kompakta)				
F	Granulära (porösa)				

Tabell 12. Bedömning av aggregatens stabilitet (FAO, 1974. Modifierad av Messing, 1985)

Aggregatstabilitet	Beskrivning
Starkt utvecklade	Mycket tydliga aggregat i ostörd jord som hänger svagt samman med varandra. Aggregaten bryts inte sönder när jorden rörs. Mycket lite eller inget material föreligger i enkelkornstruktur.
Moderat utvecklade	Tydliga aggregat som faller sönder till hela aggregat när jorden rörs. Endast lite jord förekommer i enkelkornstruktur.
Svagt utvecklade	Knappt urskiljbara aggregat som faller sönder till en blandning av ett fåtal aggregat och jord i enkelkornstruktur när jorden rörs.



Markyta. Gott bestånd av höstvet

0 cm

Matjorden var ca 22 cm tjock och i det övre lagret upplevdes strukturen grymig. Nedre lagret skarpkantade fragment med moderat stabilitet. Rötter allmänt förekommande.

22 cm

Plogsulan var ca 10 cm tjock och relativt kraftig. Aggregaten var skarpkantade och stabila. En del rötter.

33 cm

Alven utgjordes av oregelbundna aggregat som föll sönder lätt. Få rötter. Det förekom stenar.

Figur 33. Exempel på profilbeskrivning från Wiggeby.

Tabell 13. Markstrukturbeskrivning för lös (matjord) resp kompakt (alv) jord (Batey, 1988)

Beteckning	Aggregatens storlek	
<i>Lös jord</i>		
S1	Fina	1-6 mm
S2	Intermediära	6-10 mm, få aggregat med upp till 20 mm diameter
S3	Grova	10-30 mm, få aggregat med upp till 50 mm diameter
S4	Mycket grova	30-70 mm
<i>Kompakt jord</i>		
S5	relativt kompakt lager som lätt kan brytas sönder till individuella aggregat som kan placeras in i klasserna S1-S4 (S5.1, S5.2, S5.3 eller S5.4)	
S6	kompakt lager som med viss svårighet kan brytas sönder till enskilda aggregat som kan placeras in i klasserna S1-S4 (S6.1, S6.2, S6.3 eller S6.4)	
S7	mycket kompakt lager som endast med stor svårighet kan brytas sönder till mindre delar (kokor), fortsatt indelning i storleksklasser ej meningsfull	

Rotutveckling, porer och maskförekomst

Rotutvecklingen beskrivs genom att man anger rötternas storlek (tabell 14) och mängd (tabell 15) i varje skikt i marken. Vad gäller mängden rötter får den bedömas utifrån rötternas storlek. Sålunda kan "få" rötter anses vara färre än 1 grov rot/dm² och färre än 10 st. mycket fina rötter.

Tabell 14. Bedömning av rotstorlek (FAO, 1974)

Rötternas storlek	Diameter
Mycket tunna	<1 mm
Tunna	1-2 mm
Intermediära	2-5 mm
Grova	>5 mm

Tabell 15. Bedömning av rotmängd (FAO, 1974)

Rotmängd
Mycket få
Få
Allmänt förekommande
Många

Porsystemet. De stora porerna (> 1mm) i marken är viktiga för transport av vatten och luft samt för rotutvecklingen. För att titta på porerna kan man försiktigt skrapa bort jorden vid markytan, så man skapar en avsats i centrala matjorden, sedan tar man bort ytterligare jord för att studera plogsula respektive alv. Eller också tar man upp en större jordklump (1×1×1 dm) bryter itu den med händerna och räknar porer på den naturliga sprickytan. Makroporsystemet beskrivs genom att man räknar antalet porer (Tabell 16) av olika storlek (diameter i mm). Man kan även titta på porernas orientering (vertikala eller horisontella). Bedömningen av porstorleken går lättast om man har några föremål av känd diameter med sig, t.ex. stiftpenna, ståltråd m.m. eller ett borrhjul.

Tabell 16. Antal porer >1mm (mäts/räknas vinkelrätt mot porernas utbredningsriktning)(FAO, 1974)

Beteckning	Frekvens (antal/dm ²)
Inga	0
Mycket få	1-10
Få	10- 50
Ganska många	50 - 200
Många	>200

Maskförekomsten uppskattas genom att man tar en spadfull jord (ca 20×20×10cm) och räknar hur många man hittar. Detta bör upprepas ett par gånger för att öka säkerheten. Maskantalet bedöms enligt tabell 17.

Tabell 17. Bedömning av maskfrekvensen (Berglund, pers. medd., 2001)

Beteckning	Antal maskar/spadfull
Dåligt	0 - 5
Bra	6 -10
Mycket bra	>10

Markens infiltrerbarhet

Den vattenledande förmågan speglar markens strukturtillstånd och dränerbarhet. Man trycker ned en plåtram (15×15×15 cm) i marken, håller i en liter vatten och mäter med en tumstock hur snabbt vattnet sjunker undan. Man bör hålla i någon liter vatten före själva provtagningen, eftersom marken suger åt sig en del vatten och det man vill mäta är hur mycket vatten som kan rinna undan när marken är mättad. Om vattnet sjunker undan långsamt noterar man tiden och vattennivån vid avslutad mätning. Mätvärdena räknas om till meter/dygn och klassas efter tabell 18. Mätningarna görs i matjord, eventuell plogsula och alv.

Tabell 18. Klassning av vattengenomsläpplighet i mark (Thomasson, 1975)

Genomsläpplighet (m/dygn)	Klassning	Dräneringseffekt
< 0,01	mycket låg	svag
0,01 -0,1	låg	svag
0,1 - 0,3	medelgod	god
0,3 - 1,0	hög	god
1,0 - 10	mycket hög	god
>10	extremt hög	god

UTVÄRDERING AV MARKSTRUKTURINDEX

Indexet är utvecklat för att man ska kunna bedöma odlingssystemets effekter på markstrukturen på ett enskilt fält på en enskild gård. Inte för att göra jämförelser mellan fält eller gårdar eftersom t.ex. jordarts- eller klimatskillnader kan ge missvisande resultat. Utvärderingen av indexet gjordes enligt två huvudprinciper. I det första fallet analyserades en parameter där alla övriga förutsättningar var de samma t.ex. effekten av frövall i växtföljden eller skillnaden med att använda 3-radig eller 6-radig betupptagare. I det andra fallet analyserades effekten av två olika odlingssystem där många olika faktorer skiljer systemen åt. Här jämfördes två gårdar med till synes samma jordarts- och klimatförhållanden men med olika skördenivå, mätt som sockerbetsskörd. Utvärderingen har utförts genom att datormodellen körts och fälttesterna utförts på alla gårdar. Dessutom har laboratorieanalyser gjorts på jord från provplatserna där fälttesterna utförts. Utöver utvärderingen av den vetenskapliga kvaliteten på resultaten har datormodellen och fälttesterna även utvärderats utifrån hur de fungerar rent praktiskt för användaren.

Val av gårdar

Den första analysen gjordes på ett antal gårdar som huvudsakligen ingår projektet "Odling i balans". Projektledare Lars Törner hjälpte till med urvalet av gården. Analysen av de olika odlingssystemen gjordes på gårdar i projektet 4T i Skåne. Där hjälpte projektledare Jens Blomquist till med urvalet av gårdar. Resultaten av odlingssystemindex presenteras under varje enskild gård (eller gårdspär där två gårdar jämförts). Dessutom finns en sammanställning av resultaten i bilaga 2, dels som de kvantitativa uppgifter vilka erhållits ur modellen och dels som dessa data omräknade till de indexresultat odlingssystemen fått. Uppgifter om axelbelastningar på fram- och bakaxel hos de traktormodeller som gårdarna använder sig av finns i bilaga 4.

Odling i balans

Odling i Balans är ett projekt som startade i början av 90-talet. Målsättningen med verksamheten är att väva ihop ekonomi och ekologi på gården och skapa en uthållig produktion. Basen i projektet utgörs av 16 stycken pilotgårdar som skall vara representativa för Sveriges olika produktionsområden och produktionsgrenar. Gårdarna utgör en "brygga" mellan forskning - grundvetenskap och praktiskt jordbruk. Av dessa gårdar stiftades närmare bekantskap med fyra stycken: Wiggeby, Broby, Hacksta och Västraby. Utöver gårdarna i Odling i balans besöktes även Åbylund, en granngård till Broby i Östergötland samt Kullsegård i Halland.

Följande förhållanden undersöktes på respektive gård:

- Tillförsel av stallgödsel i växtföljden eller inte jämfördes på Wiggeby.
- Stallgödselspridning med slangspridningssystem respektive gödseltunna jämfördes på Broby och Åbylund.
- Växtföljd med eller utan frövall jämfördes på Hacksta.
- 3-radig och 6-radig betupptagare jämfördes på Västraby.
- Skillnad mellan lättare och styvare jord undersöktes på Kullsegård.

Fälttesterna utfördes under maj månad. Hela växtföljden har inte kunnat provas på de olika gårdarna utan endast fyra år, då data för tidigare år var ofullständiga. För innevarande år, 2001, användes bearbetningsdata och skördedata från ett tidigare år med samma gröda. Detta eftersom växtodlingsåret inte var avslutat, och data därmed saknades vid tidpunkten för körningen av datormodellen.

4T-projektet

Projektet drivs av diverse intressenter inom sockerbetsnäringen och syftet med projektet är att försöka ta reda på varför vissa gårdar har högre sockerbetskörd än andra fastän jordarts- och klimatförutsättningarna är relativt lika. Gårdarna är indelade i par, en plusgård och en medelgård: Endast par 2 och par 3 har ingått i undersökningen. Pargårdarna är belägna i västra Skåne och inom paret är gårdarna i princip grannar. Medelgårdar benämns de med standardskörd, plusgårdar de med högre skörd. Fälttesterna utfördes under en vecka i juni månad. Utvecklingsfas hos grödan, nederbördsmängd osv. bör därför inte orsaka skillnader i resultaten eftersom testerna utfördes på en och samma dag på gården inom paret.

Syftet var främst att jämföra resultaten för odlingssystemen i sin helhet mellan gårdarna inom respektive par. Det bör betonas att indexet egentligen *inte* ska användas för att titta på skillnader mellan gårdar. Istället skall det användas för att titta på hur enstaka förändringar i odlingssystemet skulle påverka markstrukturen på gården. Anledningen är att de ursprungliga förutsättningarna aldrig är desamma på två gårdar och resultaten därför kan bli missvisande. I detta fall är emellertid jordarts- och klimatförutsättningarna i princip de samma för de båda gårdarna inom paret.

Laboratorieanalyser

Syftet med laboratorietesterna var att de skulle användas vid utvärdering av fälttesterna. När fälttesterna utfördes på Odling i Balans gårdarna och Kullsegård togs även prover för analys i laboratorium. För de gårdar som ingår i 4T-projektet fanns det redan resultat att tillgå från tidigare utförda provtagningar. Resultaten av analyserna sammanfattas i bilaga 5 och 6.

Provcylindrar (3 st/nivå), med höjden 100 mm (utom på Västraby där de var 50 mm) och diametern 72 mm, togs ut från matjord, plogsula och alv. Dessa har använts till att mäta *vattengenomsläpplighet*, och *torr skrymdensitet*. Metoderna finns beskrivna av Andersson (1955). Först vattenmättades cylindrarna därefter mättes vattengenomsläppligheten. Sedan torkades cylindrarna i 105°C i tre dagar varefter de vägdes för bestämning av torr skrymdensitet. Vid fälttesterna togs även jord från matjord och alv. Den användes sedan för bestämning av *glödgningsförlust* och *texturanalys* enligt Ljung (1987). Först lufttorkades proverna i 105°C varefter de maldes. Sten och grus samlades i kvarnens sikt vid malningen. Den resterande jorden ”finjorden” användes dels vid bestämning av glödgningsförlust och dels för texturanalysen. För den senare utfördes först våtsiktning för bestämning av sand- och grovmofraktionerna. Därefter utfördes sedimentationsanalys med pipettprovtagningar för bestämning av de finaste fraktionerna.

4T-gårdarna: Urvalet, och i viss mån även analyserna, som utförts på 4T-gårdarna skiljer sig något från de ovannämnda. Dels har inga prover tagits från vändtegarna och dels har endast

genomsläpplighet efter en timme mätts (ej efter 24 tim). Uppgifterna som redovisas i resultatdelen är medianvärden av fyra års analysresultat.

Wiggeby (stallgödsel/ej stallgödsel)

Wiggeby ligger på Färingö i Mälaren, ca 3 mil från centrala Stockholm (figur 34). Gården brukas av Håkan och Teri Eriksson. Driftens huvudinriktning är växtodling men man har även slaktsvinsproduktion med ca 3900 årssvin. Idag brukas ca 440 hektar åker. De främsta grödorna utgörs av spannmål (främst höstvete), ärtor och oljeväxter. Nyligen började man även att odla frövall, både ängssvingel och klöverfrö, samt att ta ensilage till hästar. Jordarten varierar från mellanlera till styv lera och även mullhalten växlar. Fälten är behovsdikade. Gården utnyttjar halmeldning som energikälla vilket medför att en stor del av halmen förs bort från fälten (Internet, Odling i balans pilotgård Wiggeby, 2001).



Figur 34. Vy över Wiggeby gård. (Internet, Odling i balans, pilotgård Wiggeby, 2001).

Wiggeby har utökat sin odlingsareal under åren dels genom köp av mark och dels genom att arrendera mark. Detta har medfört att viss areal hamnat en bit bort från brukningscentrum. På denna mark har det därmed inte heller spridits någon stallgödsel (i övrigt har växtodlingen bedrivits på likartat sätt). Det fanns därför möjlighet att undersöka hur stallgödseltillförsel i växtföljden kontra icke stallgödsel skulle ge utslag i indexet. Wiggebys odlingssystem och grundförutsättningar samt indexresultaten redovisas i detalj i bilaga 1.

Odlingssystem

I tabell 19 redovisas resultatet från odlingssystemdelen. År 1998 odlades höstvete på fältet med, och vårraps på fältet utan stallgödsel. Grödorna i sig gav stor skillnad i indexet, så för att tydliggöra effekten av stallgödseln har det året tagits bort. Utslaget blev bättre för fält med stallgödsel, -1,3 mot -2,7 för fält utan stallgödsel.

Tabell 19. Resultat över odlingssystemdelen för Wiggeby

	Org mtrl	Rötter	Torkdagar	Barmark	Packning	Över-farter	Summa gröda	Medel Växtföljd
Med stallgödsel								
1999 Oljelin	2,0	1,3	4,6	-6,5	-5,3	-4,7	-8,6	
2000 Höstvete	1,5	4,8	1,7	-0,8	-0,9	-4,3	2,0	
2001 Höstvete	3,5	4,6	5,6	-1,1	-5,3	-4,7	2,6	-1,3
Utan stallgödsel								
1999 Höstvete	1,2	3,8	6,0	-0,2	-4,0	-5,0	1,9	
2000 Oljelin	1,0	1,8	0,0	-9,4	-0,9	-4,3	-11,9	
2001 Höstvete	1,3	4,0	6,0	-0,8	-4,0	-4,7	1,8	-2,7

Analysresultat

Jordarten skilde sig något åt mellan fälten. Den var något styvare (SL) på fältet utan stallgödsel mot ML på fält som tillförts stallgödsel. Halten organiskt material var dock mycket låg i båda fälten och klassas endast som mullfattig (under 2 %). Skrymdensiteten var högst i plogsulan för båda fälten vilket är normalt. Det var dock konstigt att det var lägst infiltration i matjorden för båda fälten (tabell 20).

Tabell 20. Analysresultat för Wiggeby

Skikt	Texturanalys	Skrymdensitet (g/cm ³)	Infiltration (1 tim)	Infiltration (24 tim)
<u>Med stallgödsel</u>				
Matjord	mf ML	1,30	Mycket hög	Hög
Plogsula	-	1,46	Mycket hög	Mycket hög
Alv	mf SL	1,44	Mycket hög	Mycket hög
<u>Utan Stallgödsel</u>				
Matjord	mf SL	1,32	Mycket hög	Hög
Plogsula		1,57	Mycket hög	Mycket hög
Alv	SL	1,49	Mycket hög	Mycket hög

Tabell 21. Profilbeskrivningar för Wiggeby

	Fält med stallgödsel	Fält utan stallgödsel
<i>Matjord</i>	Matjorden var 23 cm tjock och relativt mörk och stenig. Strukturen upplevdes kokig på ytan men direkt under den var aggregaten granulära och i matjordens nedre del övergick de till mer skarpkantade fragment.	Matjorden var ca 22 cm tjock och i det övre lagret upplevdes strukturen grynig. Nedre lagret bestod av skarpkantade fragment med moderat stabilitet.
<i>Plogsula</i>	Plogsulans tjocklek uppgick till 8 cm och var inte så kraftig. Aggregaten var relativt skarpkantade och föll sönder i smulor vid tryck.	Plogsulan var ca 10 cm tjock och relativt kraftig. Aggregaten var skarpkantade och stabila.
<i>Alv</i>	Alven relativt stenig men i övrigt inget speciellt. Aggregaten var avrundade och deras stabilitet var svag.	Alven utgjordes av oregelbundna aggregat som lätt föll sönder.
<i>Maskar</i>	Enstaka maskar förekom medan gropen grävdes.	Inga daggmaskar upptäcktes när gropen grävdes.

Övriga fälttester. På fält med stallgödsel var infiltration högre i plogsulan än i alven. Generellt var det mycket svårt att se och räkna porerna, särskilt de små, för alla nivåer (tabell 22). På fält utan stallgödsel klassades strukturen som tät i matjorden och extremt tät i plogsula och alv.

Tabell 22. Resultat av fälttester vid Wiggeby

Skikt	Struktur/spadtest	Rötter	Porer < 2 mm	Porer > 2 mm	Infiltration
<u>Med Stallgödsel</u>					
Matjord	Något tät	Allmänt	Svåra att se	Svåra att se	Extremt hög
Plogsula	Extremt tät	Allmänt	Svårt att se	10	Extremt hög
Alv	Extremt tät	Få	Svårt att se	45	Mycket hög
<u>Utan Stallgödsel</u>					
Matjord	Tät	Allmänt	Svårt att se	-	Extremt hög
Plogsula	Extremt tät	Allmänt	Ganska många	-	Hög
Alv	Extremt tät	Få	Ganska många	2	Mycket hög

Diskussion

Odlingssystem. Båda fälten hamnade på ett negativt resultat i indexet men det blev till fördel för fältet som tillförts stallgödsel. Skillnaden var 1,4 när man jämför växtföljdernas medeltal. Det spreds inte någon stallgödsel till höstvetet 2000, därav den låga siffran för organiskt material. Annars ger stallgödsel en ökad mängd av organiska material. Det var genomgående högre skördar på skiftet som tillförts stallgödsel vilket medförde högre värden på organiskt material och även rotmängden blev större. Skillnaden i andelen torkdagar beror på att fälten skiljer sig åt med avseende på jordart. Mellanlera för stallgödsel fältet och styv lera på fält utan stallgödsel. Växtföljden är inte heller identisk vilket medför att årsmånen skiljer sig åt mellan likartade grödor.

Brukaren, Håkan Eriksson påpekade att han själv inte trodde stallgödseln skulle få så bra utslag i indexet då han kör med tunga maskiner i samband med stallgödelspridningen: Hans misstankar införlivades: Gödseltunnans utslag i packningsdelen av indexet ligger nästan 1,3 enheter högre än då man inte spridit stallgödsel. På Wiggeby är det inte gödseltunnan som orsakar mest packning utan det är framför allt ekipaget som plöjer. Hela 14 tonkm/ha för plöjning mot gödseltunnans 6 tonkm/ha.

Oljelinet gav ett stort negativt utslag ner mot -10 i båda fälten. Anledningen till att oljelinet fick så dåliga värden var dels den låga skörden och dels andelen torkdagar. Dessutom skiljer sig bar och ofrusen mark markant från till exempel höstvete.

Analysresultat. Jordarten skilde sig åt i matjorden för provplatserna. Fältet som tillförts stallgödsel var lättare ML än det andra som klassades som SL. Mullhalten var mycket låg i båda fälten och klassades bara som mullfattig. Högre mullhalt i fältet som tillförts stallgödsel hade förväntats med tanke på att fältet som tillförs stallgödsel inte bara tillförts organiskt material utan också har högre skörd vilket i sin tur ökar organiska halten i jorden. Skrymdensiteten för de stallgödslade fälten är lägre både i plogsula och alv vilket skulle kunna förklaras med en fördelaktigare markstruktur.

Fälttester. Fälttesterna gav inte lika tydligt utslag som odlingssystemdelen. Skillnaderna som fanns var dock till stallgödsels fördel. Strukturtestet visade tät struktur i matjorden på fält utan stallgödsel men endast något tät på fält med. Antalet dagmaskar var också betydligt färre på skiftet utan stallgödsel liksom andelen porer i alven. Stallgödseln anses gynna dagmaskförekomsten vilket den troligen har gjort i det här fallet. Detta har antagligen bidragit till att mängden grova porer är betydligt större i fält med stallgödsel (hela 45 st. per dm^2 observerades), än utan (endast 2 st. per dm^2).

Generella slutsatser. Indexet gav det utslag som förväntats. Skillnaden i resultat mellan fält med och utan stallgödsel blev inte så stor på grund av att gödseltunnans negativa bidrag i form av alvpackning slog igenom. Fälttesterna visade inte heller på några stora skillnader men det fanns tendenser till att fält med stallgödsel var bättre. På fält med stallgödsel var andelen stora porer i alven betydligt större liksom antalet maskar. Detta ligger troligen till grund för den lägre skrymdensiteten som uppmättes i plogsula och alv i jämförelse med fält utan stallgödsel. Skillnaderna som nämnts har troligen med största sannolikhet lett fram till den högre skörd som skiftet med stallgödsel frambringar.

Hacksta (frövall/ej frövall)

Hacksta (figur 35) är beläget ca 1,5 mil söder om Enköping och dess marker gränsar mot Mälaren. Gården ägs av Olle Hakelius men driften sköts av Jarl Rydberg som är inspektor.

Hacksta är en ren växtodlingsgård förutom några få hästar och ett 60 tal lamm. Den brukade arealen uppgår till ca 354 ha, därutöver tillkommer naturliga beten och skog. Växtodlingen domineras av stråsäd. Oljeväxter, örter och frövall fungerar som viktiga omväxlingsgrödor. Jordarten varierar från mellanlera till styv lera och det finns även jordar med gyttejinslag. Mullhalten ligger runt tre till fyra procent och klassas som måttligt mullhaltig (Internet,



Figur 35. Vy över Hacksta gård (Internet, Odling i balans, pilotgård Hacksta, 2001).

Odling i balans, pilotgård Hacksta, 2001). På Hacksta fanns möjlighet att undersöka skillnaden mellan att ha frövall eller inte i växtföljden. Två intilliggande fält analyserades. Det ena hade haft treårig frövall som förfrukt till höstvetet medan det andra inte hade haft frövall under de senaste tio åren. En detaljerad beskrivning av Hackstas odlingssystem på de båda fälten samt indexresultaten av dessa redovisas i bilaga 7.

Odlingssystem

I tabell 23 redovisas resultaten från odlingssystemdelen i indexet. Då frövall inte finns att välja på som gröda i indexet valdes slåttervall som gröda. För att få rättvisa skördenivåer i jämförelse med slåttervall relaterades fröskörden till en viss grönmassa, om fröskörden uppgick till 1000 kg/ha antogs att grönmasseproduktionen var 10000 kg/ha. Resultatet blev tydligt och frövallen fick överlägset bäst resultat, +9,8 mot -0,2 för icke frövall i växtföljden.

Tabell 23. Resultat från odlingssystemdelen för Hacksta

	Org mtrl	Rötter	Torkdagar	Barmark	Packning	Över- farter	Summa gröda	Medel Växtföljd
<u>Frövall</u>								
1999 Frövall	0,9	6,3	3,9	0,0	-0,2	-1,7	9,2	
1999 Frövall	1,0	7,0	8,9	0,0	-0,2	-2,3	14,3	
2000 Frövall	0,9	6,3	3,9	0,0	-0,2	-1,7	9,2	
2001 Höstvete	4,0	5,3	6,0	-1,0	-4,0	-4,0	6,3	9,8
<u>Ej frövall</u>								
1998 Höstvete	2,9	3,9	3,0	-1,5	-0,1	-3,7	4,5	
1999 Havre	2,3	3,1	5,4	-6,3	-3,8	-3,0	-2,2	
2000 Årter	1,2	1,7	0,0	-9,1	-4,0	-3,3	-13,6	
2001 Höstvete	4,0	5,3	6,0	-0,9	-0,2	-3,7	10,5	-0,2

Analysresultat

Både jordarten och mullhalten var likartade i båda fälten. Skrymdensiteten skilde sig däremot åt. Den var markant lägre för fält med frövall. Även infiltrationen skilde sig åt och den var bättre eller lika bra i alla nivåer för fältet med frövall (tabell 24).

Tabell 24. Analysresultat för Hacksta

Skikt	Texturanalys	Skrymdensitet (g/cm ³)	Infiltration (1 tim)	Infiltration (24 tim)
<u>Frövall</u>				
Matjord	mmh SL	1,03	Mycket hög	Mycket hög
Plogsula		1,3	Medelgod	Hög
Alv	SL	1,2	Låg	Låg
<u>Ej frövall</u>				
Matjord	mmh SL	1,14	Hög	Medelgod
Plogsula	-	1,42	Låg	Låg
Alv	SL	1,33	Låg	Mycket låg

Fälttester

I tabell 25 redovisas profilbeskrivningarna för fälten. På fält med frövall grävdes gropen ca 75 m från vägen. Fältet var systemdikat med ett dikesavstånd på ca 15 meter. På fält "ej frövall" låg provgropen ca 30 meter från fältkanten. Fältet var endast behovsdikat. Det var relativt torrt när fälttesterna utfördes.

Tabell 25. Profilbeskrivningar för Hacksta

	Frövall	Ej frövall
<i>Matjord</i>	Matjorden var ca 22 cm tjock och mörk. Grynig struktur i de övre delarna. Aggregaten blev något större och avrundade i nedre delen.	Matjorden var 22 cm tjock och strukturen porös med små granulära aggregat i övre delen men oregelbundna fragment i nedre.
<i>Plogsula</i>	Plogsulan var obefintlig och endast 5-6 cm tjock. Strukturen var kokig och aggregaten var skarpkantade med tydlig brottyta.	Plogsulan var inte så tydlig och uppgick till ca 6 cm. Strukturen i plogsulan var mer massiv i jämförelse med matjorden.
<i>Alv</i>	Färgen var gråaktig med tydliga rostfärgningar. Alven kändes massiv men bröts vid tryck sönder till avrundade fragment.	Färgen var gråaktig. Strukturen kändes massiv men sprack lätt vid tryck till oregelbundna skarpkantade fragment.
<i>Maskar</i>	10-15 stycken maskar syntes när gropen grävdes.	Inga maskar upptäcktes medan gropen grävdes.

Övriga fälttester. På fält med frövall gick det mycket lätt att föra ned spaden och det fanns mycket rötter och porer. Antalet stora porer var extremt högt, hela 75 stycken i alven. Infiltrationen var bra i hela profilen (tabell 26). På fält utan frövall syntes även porer i matjorden, vilket är ovanligt.

Tabell 26. Resultat av fälttester Hacksta

Skikt	Struktur/spadtest	Rötter	Porer < 2 mm	Porer > 2 mm	Infiltration
<u>Frövall</u>					
Matjord	Lucker	Många	Många	50	Extremt hög
Plogsula	Tät	Många	Ganska många	25	Mycket hög
Alv	Något tät	Allmänt	Många	75	Hög
<u>Ej frövall</u>					
Matjord	Något lucker	Många	-	5	Extremt hög
Plogsula	Extremt tät	Allmänt	Få	10	Hög
Alv	Extremt tät	Allmänt	Få	15	Medelgod

Diskussion

Odlingssystem. Resultatet blev tydligt och frövallen fick bäst resultat i indexet av de gårdar som ingår i provningen. Frövallens effekt skulle tonas ner om det varit fler år i växtföljden, nu får den mycket stor dominans då den utgör hela tre år av fyra i växtföljden. Det är endast en faktor som fältet utan frövall får bättre utslag från och det är mängden organiskt material. Detta beror på att man sällan lämnar kvar några skörderester efter en frövall, antingen tar man tillvara på grönmassan som till hö eller också bränns det. Andelen rötter däremot är mycket hög för frövallen och upptorkningseffekten god. Antalet överfarter är mycket få och i Hackstas fall uppgår det till ca fem stycken per år. Av de överfarter som görs på fältet är det endast hemtransporten som packar.

Fältet som saknade frövall i växtföljden har mycket sämre resultat, framför allt på de negativa faktorerna. Fler överfarter, mer packning och fler barmarksdagar (särskilt med tanke på att det ingår två vårsådda grödor i växtföljden). Det är framför allt plogen som packar på Hacksta och den bidrar med så mycket som 17 tonkm/ha. Av de positiva faktorerna är det främst upptorkningen som skiljer eftersom vårsådda grödor anses torka upp mycket sämre än en vall, vilken hör till de grödor som har bäst upptorkning.

Analysresultat. Båda fälten klassades som måttligt mullhaltiga efter glödningsförlusten. Frövallens positiva effekt på mullhalten syns inte ännu, eftersom det tar lång tid att påverka den. I övrigt fick fält med frövall som förfrukt betydligt bättre resultat både för infiltrationen och skrymdensiteten. Infiltrationen på fältet utan frövall skiljer sig åt även mellan 1 timme och 24 timmar till skillnad från fält med frövall. Detta kan vara en indikation på att porerna är mer instabila på fält utan frövall och hinner förstöras under 24 timmar.

Fälttester. Även fälttesterna gav positivt utslag för frövallen. Spadtestet blev bättre i hela profilen och maskförekomsten var betydligt högre i fältet med frövall. Strukturen i fältet med frövall var luckrare och aggregaten var små och avrundade istället för större skarpkantade. Jorden kändes inte lika massiv och plogsulan var inte alls lika markant som i fältet utan frövall. Frövallens rötter i kombination med de många dagmaskarna måste ha luckrat upp plogsulan och minskat dess dominans av profilen. Helhetsintrycket av profilen var allt igenom bättre för fältet där det växt frövall, jorden kändes mer behaglig och större aggregat föll lätt sönder till mindre. Matjordens färg på fältet med frövall uppfattades som mörkare vilket skulle tyda på högre mullhalt, men laboratorieresultaten bekräftade inte detta.

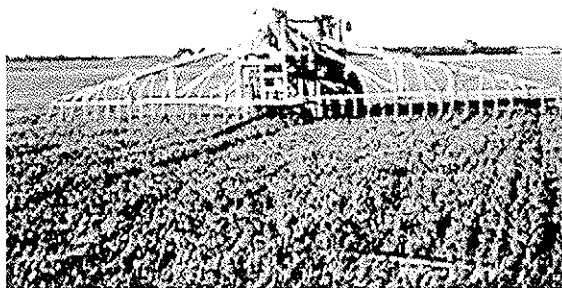
Generella slutsatser. Indexets stora positiva utslag för frövallen stämde väl överens med de resultat och tydliga skillnader som noterats i fält. Frövallen upplevdes ha en läkande effekt på jorden i hela profilen. Plogsulan hade mattats av och strukturen i alven kändes betydligt behagligare än i fält utan frövall.

Broby och Åbylund (Släpslangspridare/gödseltunna)

Broby. Gården är belägen i västra delarna av Östergötlands bördiga slättbygder, strax norr om sjön Tåkern. Broby gård ägs och brukas av familjen Malmström. Driften är inriktad på växtodling och äggproduktion. Äggproduktionen omfattar idag 22000 värphöns men är på väg att utvidgas.

Arealen uppgår till 190 ha med mycket god arrondering runt gården. Växtproduktionen styrs till stor del av foderbehovet från värphönsen vilket innebär att spannmålsandelen är stor. Som omväxlingsgröda används träda och höstraps. Jordarten utgörs till stor del av mellanleror som övergår i lättleror upp mot gården. Mullhalten ligger runt 2,5% (något mullhaltig) (Internet, Odling i balans, pilotgård Broby, 2001).

För några år sedan började Broby att titta på alternativ teknik att sprida stallgödsel istället för de sedvanliga tunga gödseltunnorna efter vilka man kunde skönja långvariga packningskador. Blickarna riktades mot Norge, där man fann en teknik som går ut på att man använder sig av slangar genom vilka gödseln pumpas ut från gödselbrunnen till fälten (figur 36). Tack vare Brobys goda arrondering kunde man utnyttja tekniken på gården och man införskaffade utrustningen tillsammans med en granngård och har nu använt släpslangtekniken i två år.



Figur 36. Gödseln pumpas ut till en ramp kopplad på traktorn (Internet, Odling i balans, pilotgård Broby, 2001).

Åbylund. Gården är belägen knappt en kilometer från Broby. Åbylund ägs och brukas av två bröder, Claes och Per Eke-Göransson. På gården bedrivs både djurhållning och växtodling. Djurhållningen omfattar 3500 slaktsvinsplatser och växtodlingen bedrivs på ca 400 ha. Växtodling och djurhållning är intimt sammanlänkade genom den egna foderproduktionen på gården och återförseeln av organiskt material i form av stallgödsel från djuren till grödorna. Den egna fodertillverkningen medför att växtodlingen är relativt styrd av grisarnas foderbehov. Följaktligen domineras växtodlingen av spannmål, främst korn och höstveten men även av avbrottsgrödor såsom ärter och oljeväxter. Jordarten varierar från mellaleror till styvaleror. Mullhalten ligger runt 2-3 procent.

Åbylund utnyttjar fortfarande gödseltunnor för att sprida sin stallgödsel. Åbylund och Broby har fält som gränsar till varandra, det är endast Mjölneån som skiljer dem åt, med likartad växtföljd. Här gavs alltså ett ypperligt tillfälle att undersöka hur gödseltunnan, som kan orsaka förödande packningsskador, skulle ge utslag i indexet jämfört med släpslangspredning.

En detaljerad beskrivning av odlingssystemen på Broby och Åbylund samt indexresultaten av dessa redovisas i bilaga 8.

Odlingssystem

I tabell 27 redovisas resultaten från Broby och Åbylund. År 1998 var grödorna olika, Åbylund odlade höstkorn medan Broby hade träda. Utslagen i indexet skilde sig mellan grödorna vilket medförde att det året uteslöts från indexet för att tydliggöra effekten av spridning med eller utan gödseltunna. Släpplangspridningen gav positivt resultat och hamnade på 2,6 mot 1,9 för gödseltunna (tabell 27).

Tabell 27. Resultat över odlingssystemdelen för Broby och Åbylund

	Org mtrl	Rötter	Torkdagar	Barmark	Packning	Över-farter	Summa gröda	Medel Växtföljd
<u>Släpplang, Broby</u>								
1999 Höstraps	2,8	2,6	4,8	-1,0	-7,3	-3,0	-1,1	
2000 Höstvete	4,5	4,8	1,7	-1,8	-4,3	-3,0	1,8	
2001 Höstvete	4,8	5,3	5,6	-1,3	-4,4	-3,0	7,0	2,6
<u>Tunna, Åbylund</u>								
1999 Höstraps	3,7	3,2	5,1	-1,2	-7,1	-3,3	-0,4	
2000 Höstvete	3,1	5,4	2,9	-1,8	-4,0	-2,3	3,3	
2001 Höstvete	2,8	4,6	6,1	-1,0	-7,1	-2,7	2,7	1,9

Analysresultat

Jordarten var styvare (styv lera) på Åbylund än på Broby (mellanlera). Det är ovanligt att infiltrationen ökar efter 24 timmar vilket den gjorde på Broby. Det var höga skrymdensiteter över lag i båda fälten (se tabell 28 för analysresultat).

Tabell 28. Analysresultat för Broby och Åbylund

Skikt	Texturanalys	Skrymdensitet (g/cm ³)	Infiltration (1 tim)	Infiltration (24 tim)
<u>Släpplang, i körspår (Broby)</u>				
Matjord	nmh ML	1,51	Låg	Hög
Plogsula		1,59	Medelgod	Hög
Alv	SL	1,6	Mycket hög	Mycket hög
<u>Tunna, i körspår (Åbylund)</u>				
Matjord	nmh SL	1,55	Mycket låg	Mycket låg
Plogsula		1,45	Mycket låg	Låg
Alv	MSL	1,41	Låg	Mycket låg

Fälttester

I tabell 29 redovisas profilbeskrivningarna för fälten. Provgropen på Broby var belägen i körspår (endast 20 cm brett) ca 100 m från Mjölnaån. Fältet var behovsdikat. Tvärs över ån låg provgropen på Åbylund. Den grävdes ca 150 m från ån, i körspår (ca 70 cm brett). Fältet systemtäckdikades (på 17 meters avstånd) under 80-talet.

Tabell 29. Profilbeskrivningar för Broby och Åbylund

	Släpslang (Broby)	Tunna (Åbylund)
<i>Matjord</i>	Matjorden var ca 22 cm tjock och mörk till färgen. Strukturen var massiv i körspåret men blev genast luckrare vid sidan av.	Matjordens tjocklek uppgick till ca 22 cm, svårt att urskilja någon gräns då det var mycket packat genom hela profilen. Strukturen var massiv och svår att bryta sönder. Svårt att urskilja några aggregat.
<i>Plogsula</i>	Plogsulan var kraftig och ca 10 cm tjock. Det låg halm direkt på plogsulan. Strukturen var massiv och svår att bryta sönder.	Otydlig
<i>Alv</i>	Alven var gulfärgad och innehöll mycket sten. Aggregaten kunde liknas vid fragment med oregelbunden yta som lätt föll sönder.	Alven upplevdes något grynig och var rödaktig till färgen. Även alven var massiv och svår att bryta sönder.
<i>Maskar</i>	Andelen maskar var relativt hög. Bara i matjorden noterades ungefär 10 st.	Ett fåtal maskar upptäcktes när gropen grävdes.

Övriga fälttester. Det fanns inte så mycket rötter i profilen på fält med släpslangspridning och infiltrationen ökade med djupet vilket är ovanligt (tabell 30). På fält med tunna gav tramptestet "extremt tät" i hela profilen och inga rötter hittades (tabell 30).

Tabell 30. Resultat av fälttester för Broby och Åbylund

Skikt	Struktur/spadtest	Rötter	Porer < 2 mm	Porer > 2 mm	Infiltration
<u>Släpslang, i körspår (Broby)</u>					
Matjord	Tät	Få	Svårt att se	Svårt att se	Medelgod
Plogsula	Extremt tät	Få	Ganska många	30	Mycket hög
Alv	Extremt tät	Få	Ganska många	50	Mycket hög
<u>Tunna, i körspår (Åbylund)</u>					
Matjord	Extremt tät	Inga	Få	2	Gick ej
Plogsula	Extremt tät	Inga	Ganska många	1	Mycket hög
Alv	Extremt tät	Inga	Många	13	Hög

Diskussion

Odlingssystem. Resultatet blev som väntat och gödseltunnans packning gav utslag i indexet. Det skilde inte så mycket utan släpångspridningen fick +2,6 och gödseltunna +1,9 vilket ger en skillnad på endast 0,7. Släpångspridningen utnyttjades inte alla år på Broby utan 1999 användes tunna för att sprida gödseln. Ekipaget som användes på Broby orsakade packning i alven motsvarande 15 tonkm/ha. Ekipaget som plöjer packar på Broby lite mer än det på Åbylund. I gengäld packar tröskan på Åbylund men inte på Broby. Detta medför att skillnaden i packning mellan de två fälten till stor del beror på skillnader i gödselhantering.

Tunnan som används på Åbylund hyrs in från en maskinstation i närheten och rymmer hela 18 kubikmeter och dess tomvikt uppgår till sju ton. Ringtrycket ligger på över två kg/cm² då maskinstationen kör mycket på väg. Dessa faktorer bidrar till att packningsresultatet hamnar på värden neråt -7. Skulle en mindre tunna som dessutom hade lägre ringtryck ha använts skulle skillnaden i resultat krympt ytterligare.

Meningen var ju att det endast skulle vara spridning med gödseltunna jämfört med spridning med slangteknik som skulle skilja sig åt i odlingssystemdelen men så blev inte fallet eftersom två olika gårdar jämfördes. Åbylund och Broby har liknande skördenivåer vilket innebär likartad rotproduktion. Däremot skiljer sig stallgödselgivornas storlek, Åbylund ligger på 30 ton men Broby endast är 20 ton. Vidare tar Åbylund in halmen eller eldar upp den medan Broby låter den ligga kvar. Totalt sett visade sig tillförseln av organiskt material vara högre på Broby trots den större stallgödselgivan på Åbylund. Detta tack vare att man lämnade kvar halmen. Den styva leran på Åbylund har större antal torkdagar än mellanleran på Broby. Orsaken till detta är att den styvare jorden har mindre växttillgängligt markvattenförråd, vilket medför att den torkar ut snabbare enligt indexet.

Analysresultat. Jordarten skilde sig inte bara i matjorden på de två fälten utan även i alven. På Broby utgjordes alven av styv lera men på Åbylund mycket styv lera. Skrymdensiteten är högst i matjorden på Åbylund men minskar med djupet. Förhållandet är tvärt om på Broby där skrymdensiteten ökar med djupet. Plogsula och alv på Broby har högre skrymdensiteter än motsvarande på Åbylund. Infiltrationen däremot var markant högre på Broby. Detta skulle kunna förklaras med att den optimala skrymdensiteten skiljer sig åt mellan olika jordarter. På styva jordar kommer den optimala skrymdensiteten att infinna sig vid ett lägre värde än på lättare (figur 9 i kapitlet om fysikaliska faktorer).

Fälttester. Fälttesterna utfördes i körspåren. Intrycket från matjorden i hjulspåren var att den var packad och massiv. Tittar man på skadeverkan från hjulen i fält så växer det nästan ingen gröda i hjulspåren på Åbylund som är 60 cm breda. Om tunnan sprider tolv meter kommer 120 cm att vara obeväxt alltså tio procent av arealen. Detta kan jämföras med Brobys smala spår som endast är 20 cm och därmed kommer 40 cm att vara obeväxt, vilket endast motsvarar tre procent av arealen. På Broby ser man att strukturen förändras neråt i profilen och går från massiv och kokig till mer urskiljbara aggregat nere i alven. Åbylunds profil kändes packad och massiv hela vägen ner och avklingade inte alls lika snabbt på djupet som på Broby. Plogsulan var dock mycket mer markant och kraftigare på Broby. Trots att jorden upplevdes mer packad på Åbylund så torde detta stämma eftersom ekipaget som plöjer orsakar mer packning på Broby.

Andelen stora porer var mycket mindre i plogsula och alv (en resp. 13 st/dm²) på Åbylund än på Broby (30 resp. 50 st/dm²). Den stora skillnaden i porer förklarar den bättre genomsläppligheten i analysresultaten för Broby och den högre infiltrationen i alven ute i fält. Den högre maskförekomsten på Broby förklarar delvis den större andelen stora porer i plogsula och alv.

Generella slutsatser. Indexet gav positivt utslag för användandet av släpslangar vid spridning av ställgödsel jämfört med flytgödseltunnan, trots att gårdarna inte var helt identiska vad gällde grundförutsättningar och odlingssystem. Skillnaden i resultat var inte så stor i själva indexet men i fält upplevdes skillnaden desto större. På Åbylund var efterverkningarna tydliga från tunnans framfart i form av breda spår där det inte växte någonting. På Broby däremot kunde man inte se att det spritts ställgödsel någon vecka tidigare. Även i profilen var det stor skillnad. Under körspåren på Åbylund avtog inte packningsfronten utan hela profilen var massiv. Körspåren på Broby gjorde sig mest gällande i matjorden, men de var ju bara 20 cm breda mot 50-60 cm på Åbylund. Nu blev skillnaderna mycket tydliga i maskförekomst, infiltration och andelen porer i de två profilerna. Det beror till stor del på den stora skillnaden i packning i körspåren.

Västraby (3-radig/6-radig betupptagare)

Västraby gård är belägen ca två mil nordost om Helsingborg. Gården ägs och brukas idag av Svalöv Weibull AB men var länge en av sockerbolagets gårdar. Som inspektor på gården finns Magnus Ströman. På Västraby bedrivs både växtodling och mjölkproduktion. Mjölkproduktionen omfattar ca 240 mjölkkor och växtodlingen bedrivs på 1070 ha inklusive arrenden. Viktiga grödor i växtodlingen är sockerbetor och höstvet, men även vall, gräsfrövall och konservärter ingår som betydelsefulla omväxlingsgrödor. Jordarten utgörs av leror som varierar från lättleror till mycket styva leror. Mullhalten kan klassas som måttligt mullhaltig (Internet, Odling i balans, pilotgård Västraby, 2001). En detaljerad beskrivning av Västrabys odlingssystem på de båda fälten samt indexresultaten av dem redovisas i bilaga 9.

Från början skulle två parametrar undersökas på Västraby. Dels hur indexet skulle påverkas av treradig betupptagare kontra sexradig och dels vad skillnader i jordart skulle ge för utslag. Skillnaden i jordart var för liten, så den undersöktes på Kullsegård istället, där skillnaderna var större. Effekterna av de olika betupptagarna undersöktes dock. De hade använts på varsin halva av samma fält, vilket gjorde att alla förutsättningar var desamma förutom just själva upptagarna.

Odlingssystem

Resultatet på Västraby för hela växtföljden blev -5,7 för fält där 3-radig betupptagare använts medan det blev -7,8 på fält med 6-radig (tabell 31). Sämsta grödan blev sockerbetorna där den 6-radiga betupptagaren använts. De slutade på -18,3. Fält där den 3-radiga använts fick -9,9 i indexet.

Tabell 31. Resultat över odlingssystemdelen för Västraby

		Org mtrl	Rötter	Torkdagar	Barmark	Packning	Över- farter	Summa gröda	Medel Växtföljd
<u>Västraby, 3-radig</u>									
1998	Konservärt	0,6	0,8	0,0	-5,8	-6,9	-4,0	-15,2	
1999	Höstvete	3,9	5,2	5,8	-2,6	-6,7	-3,0	2,6	
2000	Sockerbetor	3,9	0,2	6,5	-10,1	-7,1	-3,3	-9,9	
2001	Vårvete	3,2	4,3	5,7	-3,9	-6,7	-3,0	-0,4	-5,7
<u>Västraby, 6-radig</u>									
1998	Konservärt	0,6	0,8	0,0	-5,8	-6,9	-4,0	-15,2	
1999	Höstvete	3,9	5,2	5,8	-2,6	-6,7	-3,0	2,6	
2000	Sockerbetor	3,9	0,2	6,5	-10,1	-15,6	-3,3	-18,3	
2001	Vårvete	3,2	4,3	5,7	-3,9	-6,7	-3,0	-0,4	-7,8

Analysresultat

Skrymdensiteten var mycket högre i hela profilen och infiltrationen lägre i matjorden för fältet med 6-radig betupptagare (tabell 32)

Tabell 32. Analysresultat för Västraby

Skikt	Texturanalys	Skrymdensitet (g/cm ³)	Infiltration (1 tim)	Infiltration (24 tim)
<u>3-radig</u>				
Matjord	mmh Mo LL	1,48	Hög	Hög
Plogsula		1,61	Mycket låg	Mycket låg
Alv	SL	1,42	Medelgod	Låg
<u>6-radig</u>				
Matjord	mmh Mo LL	1,6	Låg	Låg
Plogsula		1,85	Mycket låg	Låg
Alv	SL	1,59	Låg	Låg

Fälttest

I tabell 33 redovisas resultat från profilbeskrivningar på Västraby. Fältets norra del hade skördats med 3-radig betupptagare medan det södra skördats med den 6-radiga. Provgroparna grävdes 5 meter från varandra på vardera sidan om skiljelinjen för betupptagarna. Det var mycket blött på fältet vid tillfället.

Tabell 33. Profilbeskrivningar för Västraby

	3-radig	6-radig
<i>Matjord</i>	Den var ca 25 cm djup. Upplevdes massiv men fragmenten var inte lika skarpkantade som hos den 6-radiga betupptagaren.	Matjorden var ca 24 cm djup. Aggregaten var ca 1-3 cm, lite kokiga men smulades lätt sönder.
<i>Plogsula</i>	Plogsulan var svår att se och upplevdes ha enkelkornstruktur.	Ingen tydlig plogsula. Svagt sandlager som skulle kunna vara plogsulan fanns mellan matjord och alv. När jorden bröts loss föll den isär som vid enkelkornstruktur.
<i>Alv</i>	Alven hade ett lerskikt efter plogsulan där aggregaten var skarpkantade och relativt instabila.	Leran började i övre alven vid 41 cm djup. Alven var relativt massiv. Aggregat som bröts loss var stabila och skarpkantade.
<i>Maskar</i>	Hittade 4-5 maskar när gropen grävdes.	Hittade 4-5 daggmaskar under tiden gropen grävdes (troligen p.g.a. att det regnat dagen innan, vilket medfört att de inte behöver gå på djupet).

Övriga fälttester. Infiltrationen var låg i matjorden med 6-radig upptagare men hög med 3-radig. Det var svårt att se och räkna porerna (tabell 34).

Tabell 34. Resultat av fälttester för Västraby

Skikt	Struktur/spadtest	Rötter	Poror < 2 mm	Poror > 2 mm	Infiltration
<u>3-radig</u>					
Matjord	Något lucker	Allmänt	Svårt att se	Svårt att se	Extremt hög
Plogsula	Mycket tät	Få	Svårt att se	2	Mycket låg
Alv	Extremt tät	Mycket få	Många	2	Låg
<u>6-radig</u>					
Matjord	Något lucker	Allmänt	Svårt att se	Svårt att se	Mycket låg
Plogsula	Tät	Allmänt	Svårt att se	Svårt att se	Låg
Alv	Extremt tät	Få	Svårt att se	Svårt att se	Hög

Diskussion

Odlingssystem. Skillnaden i utslag går att härleda helt till användandet av olika betupptagare. Alla övriga resultat är lika, det enda som skiljer sig är just betupptagarna. Resultatet blev -5,7 för 3-radiga och -7,8 för den 6-radiga, alla grödor medräknade. Ser man bara till

sockerbetorna blev skillnaden ännu större den 3-radiga fick -9,9 och den 6-radiga hela -18,3. Den 6-radiga betupptagaren packar med hela 51 ton/km/ha. Detta är inte så konstigt med tanke på att dess vikt uppgår till 29 ton inklusive last. Dessutom är arbetsbredden endast tre meter vilket medför att den kör på en stor del av arealen. Anledningen till att Västraby fick så låga värden beror dels på att betskörden var mycket låg och endast uppgick till 30 ton vilket haft avgörande betydelse för mängden organiskt material. En stor del av grödorna såddes på våren vilket medför dålig marktäckning och därmed låga värden på andelen bar mark.

Analysresultat. Den 6-radiga betupptagarens frammarsch märks även i analysresultaten genom en mycket högre skrymdensitet i hela profilen jämfört med den 3-radiga. Plogsulans skrymdensitet hamnade så högt som 1,85. Även infiltrationen var sämre i matjorden men skillnaderna jämnades ut nedåt i profilen förutom att den 3-radiga hade bättre infiltration i alven.

Fältresultat. Tramptestet fick bättre klassning i plogsulan på fält med 3-radig i övrigt klassades de lika. Relativt många maskar noterades i båda groparna vilket dock bör bero på att det hade regnat dagen innan. Annars var det svårt att se och räkna porerna, framför allt på den 6-radigas provplats. Andelen rötter var högre för den 6-radiga vilket borde varit tvärt om.

Generella slutsatser. Skillnaderna i resultatet från indexet mellan den 6-radig och 3-radig betupptagaren visade sig vara lika små som skillnaderna mellan fälttesterna. Utöver betupptagarna ger även plöjning, tröskning, hemtransport och spridning av stallgödsel alvpackning. Alla dessa överfarter bidrar till att jorden förändras i negativ riktning med högre skrymdensitet, färre stora porer, lägre infiltration, etc. som följd. Detta gör att verkningarna från den 6-radiga betupptagaren suddas ut något och inte utgör lika stor del av orsaken till packning som den skulle gjort på en gård med lättare maskiner. Trots detta kan var det högre skrymdensiteten och lägre infiltrationen i alven jämfört med den 3-radiga betupptagaren.

Kullsegård (lätt/styv jord)

Gården är belägen i Halland, ca 1,5 mil norr om Halmstad inte långt från kusten. Den brukas av Bo och Gunnel Karlsson sedan början av 80-talet då de tog över efter Gunnels far Stig Svensson. Produktionen kan anses typisk för området med omfattande djurhållning i kombination med växtodling. Djurhållningen är huvudinriktningen och omfattar 120 sugor samt 250 slaktsvinsplatser. Foder köps in utifrån vilket medför att växtodlingen inte är styrd av foderåtgången till djuren. Odlad areal uppgår till ca 60 ha och utgörs till stor del av spannmål men även potatis och sockerbetor. En detaljerad beskrivning av Kullsegårds odlingssystem samt indexresultaten redovisas i bilaga 10. Jordarten varierar från lätta grusbackar till partier av mellanlera. Mullhalten växlar mellan något till måttligt mullhaltig.

Att jordarterna skiljer sig inom fälten var anledningen till att gården lämpade sig för undersökningen av hur indexets utfall påverkas av jordarten. Fältet som undersöktes utgjordes i östra änden av lerig moig sand och i den västra änden av mellanlera.

Odlingssystem

I tabell 35 redovisas resultaten från odlingssystemdelen för Kullsegård. Kullsegård hade endast avkastningsnivåer för hela skiftet. I allmänhet varierar avkastningen när det är skillnad i jordart. Vid körning av modellen ökades avkastningen därför med 15 % på den styva jorden i förhållande till den lätta. Resultatet blev till fördel för den lättare jorden som fick ett index på +0,5. Indexet för den styvare blev -0,3.

Tabell 35. Resultat över odlingssystemdelen för Kullsegård

	Org mtrl	Rötter	torkdagar	Barmark	Packning	Över- farter	Summa gröda	Medel Växtföljd
<u>Lätt jordart</u>								
1998 Vårkorn	1,5	1,8	2,1	-5,2	-1,3	-3,3	-4,4	
1999 Våraps	1,8	1,3	5,3	-6,6	-1,3	-3,7	-3,3	
2000 Höstvete	2,4	2,0	5,9	-1,8	-1,3	-4,0	3,1	
2001 Höstvete	3,4	3,4	6,7	-1,3	-1,3	-4,3	6,6	0,5
<u>Styv jordart</u>								
1998 Vårkorn	1,6	2,2	0,0	-5,2	-1,3	-3,3	-6,1	
1999 Våraps	2,0	1,5	3,5	-6,6	-1,3	-3,7	-4,6	
2000 Höstvete	2,6	2,3	5,2	-1,8	-1,3	-4,0	3,1	
2001 Höstvete	3,9	4,0	5,6	-1,3	-1,3	-4,3	6,5	-0,3

Analysresultat

Jordarten är mycket varierad och utgörs av mellanlera på det styvare partiet och lerig moig sand på det lättare. Skrymdensiteten var lägre i matjorden på den styvare delen i jämförelse med den lätta men ökade med djupet och fick där högre värden än den lätta. Infiltrationen klassades som mycket hög i matjorden i båda fallen (se tabell 36).

Tabell 36. Analysresultat för Kullsegård

Skikt	Texturanalys	Skrymdensitet (g/cm ³)	Infiltration (1 tim)	Infiltration (24 tim)
<u>Lätt jordart</u>				
Matjord	mmh l mo Sa	1,42	Mycket hög	Mycket hög
Plogsula		1,46	Hög	Hög
Alv	L mo sa	1,39	Hög	Hög
<u>Styv jordart</u>				
Matjord	nmh ML	1,37	Mycket hög	Hög
Plogsula		1,61	Hög	Hög
Alv	ML	1,65	Mycket hög	Hög

Fälttest

I tabell 37 redovisas profilbeskrivningarna för Kullsegård. Den lätta delens provgrop grävdes i fältets västra del. När gropen grävdes blev det mycket blött redan på 40 cm djup och vatten började sippra fram. Provgropen för det styvare fältet grävdes ca 30 m från fältkant i fältets östra del.

Tabell 37. Profilbeskrivningar för Kullsegård

	Lätt jordart	Styv jordart
<i>Matjord</i>	Matjorden var ca 25 cm tjock och hade enkelkornstruktur. Färgen var ganska mörk.	Matjordsdjupet uppgick till 26 cm och bestod av fina skarpkantade fragment som var relativt stabila.
<i>Plogsula</i>	Plogsulan upplevdes kompakt trots enkelkornstruktur och var ca 7 cm tjock. Även här kunde man skönja ett halmskikt.	Plogsulan var ca 9 cm tjock med normal kraftighet. Ett halmskikt kunde skönjas alldeles ovanför plogsulan. Aggregatens form kunde liknas vid skarpkantade fragment i övrigt upplevdes plogsulan massiv.
<i>Alv</i>	I nedre alven fanns lera, men ovanför den var det enkelkornstruktur med mycket sten. Det var mycket blött i profilen.	Alven var ljusgrå med insprängda rostfärgningar. Strukturen kändes massiv men smulades sönder vid brott.
<i>Maskar</i>	Ca 15-20 maskar hittades medan gropen grävdes.	Ca 10 maskar hittade medan gropen grävdes.

Övriga fälttester. Spadtestet gav bättre utslag på den lättare jordarten än den styvare (tabell 38). Den styvare delen av fältet hade mycket låg infiltration både i plogsula och alv.

Tabell 38. Resultat av fälttester för Kullsegård

Skikt	Struktur/spadtest	Rötter	Porer < 2 mm	Porer > 2 mm	Infiltration
<u>Lätt jordart</u>					
Matjord	Något lucker	Många	Svårt att se	Svårt att se	Hög
Plogsula	Tät	Få	Svårt att se	2	Hög
Alv	Tät	Få	Svårt att se	20	Grundvatten!
<u>Styv jordart</u>					
Matjord	Något tät	Allmänt	Svårt att se	Svårt att se	Mycket hög
Plogsula	Extremt tät	Få	Få	2	Mycket låg
Alv	Extremt tät	Få	Många	30	Låg

Diskussion

Odlingssystem. Utifrån de förutsättningar som gavs på Kullsegård fick den lättare jorden högre index än den styva. Skillnaden beror till stor del på att andelen torkdagar är högre för den lättare jorden p.g.a. dess ringa vattenmagasin (växterna förbrukar förrådet snabbare) vilket ger positivt utslag i indexet. Utöver skördenivån, som justerades efter jordart, skiljer sig inte de olika parametrarna sig åt. Två olika skiften med olika jordart hade varit bättre. Då hade man tydligare sett skillnader i skörd och antalet bearbetningar som normalt varierar med jordarten.

Analysresultat. Skrymdensiteten varierar inte så mycket i profilen på det lättare partiet som den gör på det styvare. Infiltrationen däremot är likartad för platserna och skiljer sig inte lika mycket åt som skrymdensiteten.

Fälttester. Skillnaden i struktur var mycket tydlig i de två fallen. Den lättare jorden hade enkelkornstruktur som upplevdes lucker medan mellanleran hade väl utvecklad aggregatstruktur som kunde upplevas något massiv i plogsula och alv. Detta medförde att strukturtestet fick bättre utfall på den lättare jorden än på den styvare. Skrymdensiteten sammanfaller inte med strukturtestet och är lägre i det styvare partiet. Detta kan åter igen kopplas samman med den lägre optimala skrymdensiteten som infinner sig på styvare jordar. Antalet rötter i matjorden var fler i matjorden på det lätta partiet än i det styva och kan kanske bero på att grundvattennivån var relativt hög här och låg på endast 40 cm djup.

Generella slutsatser. Indexets utslag gav liten skillnad mellan styvare och lättare jordart. De enda faktorer som påverkades var upptorkningen, vilken sker snabbare på en lättare jord eftersom markvattenmagasinet är mindre, och förekomsten av rötter och organiskt material, som är större på den styvare jorden på grund av den högre skördenivå som antagits finnas där. Fälttesterna, däremot, gav större skillnader mellan styvare och lättare jordart. Den styvare jorden hade aggregatstruktur och uppfattades tätare medan den lättare jorden hade enkelkornstruktur och inte lika utpräglad plogsula. Skillnaderna i indexet visar tydligt faran med att använda det för olika fält eller gårdar om inte jordarten är densamma.

Par 2 (olika odlingssystemskördenivå)

Medelgården är en växtodlingsgård bestående av 270 ha odlingsmark med bra arrondering. Lerhalten varierar mellan lätt- och mellanlera inom och mellan fälten. Gården sköts av en äldre inspektor som varit där mycket länge samt av en rättare. Det undersökta fältet är behovsdikat och har något oregelbunden form. Växtföljen består av stråsäd, ärtor och sockerbetor.

Plusgården har 93 ha odlingsmark med bra arrondering. Det är en släktgård med heltidsjordbruk och vissa alternativa inkomstkällor. Lerhalten varierar mellan lätt- och mellanlera inom och mellan fälten. Inriktningen på gården är ren växtodling. Skiftet som undersökts är regelbundet och systemtäckdikat (23 m). Växtföljen domineras av spannmål (en stor andel är vårsäd) och sockerbetor.

Ett urval från gårdarnas maskinparker presenteras i tabell 39. Utförligare beskrivning av dessa, bearbetningar, sådd, skörd och övriga indata som använts i modellen, liksom resultat från odlingssystemindexet, redovisas i bilaga 11.

Tabell 39. Ett urval från maskinparkerna (Par 2). Största traktorn används vid plöjningen

	Traktorer	Plog	Tröska	Betupptagare	Övrigt
Medelgård	5 st å 6,5-8,7 ton	2 st. å 4 & 6 skär	10,7 ton + 7,2 ton last	3-radig, 8 ton + 7 ton last	Ärttröska 18+2 ton last
Plusgård	2 st. å 4,5 & 5,5 ton	4 skär	7 ton + 3 ton last	3-radig, 8 ton + 7 ton last	Transportvagn betor 3+8 ton last

Odlingssystem

Utfallet i odlingssystemindexet blev -3,8, för medelgården (tabell 40). Den gröda som ger lägst utslag är konservärterna. Betorna och vårkornet orsakar också minus. Mest plus ger höstvetet. För plusgårdens blev indexresultatet för hela odlingssystemet +0,4. Sockerbetor ger störst minus och höstvete högsta plusvärdet i växtföljden.

Tabell 40. Resultat av odlingssystemindex på Par 2

År	Gröda	Org mtrl	Rötter	Torkdagar	Barmark	Packning	Över- farter	Summa gröda	Medel Växtföljd
<u>Medelgård</u>									
1997	Vårkorn	2,2	3,0	4,7	-7,7	-4,4	-2,7	-4,9	
1998	Konservärt	0,7	1,0	0,7	-6,9	-10,0	-3,7	-18,2	
1999	Höstvete	4,5	6,0	5,8	-3,0	-1,1	-3,3	8,8	
2000	Sockerbetor	4,6	0,3	6,5	-9,6	-7,3	-3,7	-9,2	
2001	Vårvete	4,0	5,3	5,7	-4,3	-3,8	-2,3	4,6	-3,8
<u>Plusgård</u>									
1997	Vårvete	3,7	5,0	4,9	-7,0	-2,2	-3,0	1,4	
1998	Vårkorn	3,1	4,1	0,7	-4,9	-2,2	-2,7	-1,9	
1999	Höstvete	4,0	5,3	5,8	-1,8	-2,2	-4,0	7,1	
2000	Sockerbetor	5,5	0,3	6,5	-9,5	-5,3	-5,0	-7,3	
2001	Vårvete	1,5	4,6	5,7	-2,8	-2,2	-4,0	2,8	0,4

Analysresultat

Mullhalten i matjorden var högre på plusgårdens, i övrigt var jordarterna desamma på båda gårdarna. Plusgårdens skrymdensiteter är genomgående lägre än de på medelgården (tabell 41). Både gårdarna hade högst värden i plogsulan, och på medelgården var även infiltrationen lägst i plogsulan. Plusgårdens erhöles lägst infiltration i matjorden.

Tabell 41. Analysresultat för Par 2

Skikt	Texturanalys	Skrymdensitet (g/cm ³)	Infiltration (1 tim)
<u>Medelgård</u>			
Matjord	nmh Sa LL	1,54	Hög
Plogsula	-	1,72	Låg
Alv	Mf Sa LL	1,68	Hög
<u>Plusgård</u>			
Matjord	mmh Sa LL	1,44	Låg
Plogsula	-	1,63	Medel
Alv	Mf Sa LL	1,62	Mycket hög

Fälttester

När dessa utfördes det var marken mycket torr på båda gårdarna. Resultat av spadtesten (tabell 42) bör därför tas med en nypa salt. Likaså mängden daggmaskar. På normalgårdens låg provplatsen i fältets östra del, ca 10 m ut från vändtegen. På plusgården låg provplatsen i fältets norra del, ca 20 m från angränsande fält.

Tabell 42. Profilbeskrivningar för Par 2

	Medelgård	Plusgård
<i>Matjord</i>	Sträckte sig 21 cm ner, gråbrun färg. Övre matjorden lucker, nedre mer kompakt. Aggregaten var ca 3 mm i diameter, avrundade och stabila.	Sträckte sig cirka 22 cm djupt. Ljusbrun färg. Grynig struktur i övre delen av matjorden, 0,5-2 cm avrundade fragment som lätt kunde smulas sönder, övergick till kokigare struktur djupare ned.
<i>Plogsula</i>	Ungefär 15 cm tjock, massiv och medelkraftig. Kunde bryta loss 3 cm avrundade fragment som var stabila. Kraftiga sprickor i plogsulan.	Svårt att avgöra dess tjocklek. Massiv struktur, man kunde bryta loss kokor. Gick att med tvång bryta isär till 1,5-2 cm avrundade fragment som var extremt hårda.
<i>Alv</i>	Gulgrå färg, massiv som dock lätt föll sönder till 2-5 mm avrundade, ganska stabila, fragment.	Ingen tydlig gräns mellan plogsula och alv. Alven var massiv, men kunde lätt smulas sönder till relativt instabila mycket små aggregat (nästan enkelkornsstruktur).
<i>Daggmaskar</i>	Två daggmaskar uppdagades vid grävning av hela gropen.	Två daggmaskar hittades under grävningen av hela gropen.

Övriga fälttester. På medelgården var det extremt hög infiltration i matjorden och plogsulan eftersom stora sprickor förekom (tabell 43). Plusgårdens fält hade få stora porer och låg infiltration i plogsulan. Spadtestet kan inte anses representativt eftersom marken var så torr (tabell 43).

Tabell 43. Resultat av fälttester på gårdarna i Par 2

Skikt	Struktur/spadtest	Rötter	Porer < 2 mm	Porer > 2 mm	Infiltration
<u>Medelgård</u>					
Matjord	Något lucker	Många	Svårt att se	Svårt att se	Extremt hög
Plogsula	Extremt tät	Allmänna	Ganska många	1	Extremt hög*
Alv	Extremt tät	Få	Många	4	Mycket hög
<u>Plusgård</u>					
Matjord	Tät	Många	Svårt att se	Svårt att se	Mycket hög
Plogsula	Extremt tät	Allmänna	Många	1	Låg
Alv	Extremt tät	Få	Många	20	Mycket hög

* Tydlig plogsula med stora sprickor

Diskussion

Först diskuteras utfallen i varje enskild del av resultaten. Detta avslutas sedan med en mer övergripande diskussion där de olika delarna knyts till varandra.

Odlingssystem. De totala indexen för växtföljden hamnade för medelgården på -3,8 och för plusgårdens på +0,4. Förutom ärtorna på medelgården är det samma grödor som ingår i växtföljden på gårdarna. Att båda gårdarna får ganska låga värden beror bl.a. på att endast en höstsådd gröda finns med i växtföljden, man har ingen vall, ingen stallgödsel etc. Skillnaderna mellan resultaten för gårdarnas odlingssystem beror till största del på följande.

- Medelgården har konservärt. De ger ytterst lite organiskt material och liten rotmassa. Antalet torkdagar är lågt (året som ärtorna odlades var regnigt vilket minskade antalet torkdagar ytterligare). Dessutom medför de mycket barmark och ärtröskan orsakar extrem alvpackning.
- Medelgården packar mer i alla grödor eftersom man kör med tyngre ekipage vid plöjning. Dessutom orsakar ärtröskan mycket packning.

Bäst resultat på båda gårdarna gav höstvetet. Eftersom den sås på hösten minskar andelen barmark i jämförelse med vårsådda grödor. Dessutom etablerar den ett djupt rotsystem vilket har positiv inverkan på upptorkningen. Den tillför mycket organiskt material och stor rotmassa. Grödan odlades samma år på de båda gårdarna. Medelgården fick 1 ton mer i skörd, vilket är orsaken till att mängden organiskt material och rötter är större. Eftersom grödan där kom efter konservärter (som tröskas tidigt) blev barmarksdagarna fler än på plusgårdens, vilket orsakade den lägre siffran.

Lägst värden på båda gårdarna (om man bortser från ärterna) orsakar betorna. Detta beror på att de producerar lite rötter och kräver många överfarter på fältet. Dessutom gör de att marken ligger bar en stor del av året (växtodlingsåret räknas från det att förfrukten skördats till skörd för den aktuella grödan). Det enda riktigt positiva med betorna är den stora mängd organiskt material de producerar, vilket väger upp den delen av indexet en del. Plusgården har mindre markpackning för betorna, men kör fler gånger (fyra harvningar mot två på medelgården, och två extra radrensningar).

Halmhanteringen för vårvetet på plusgården skiljer sig de båda åren. Den positiva effekten av att lämna kvar halmen på fältet märks tydligt i indexet. Den resulterar i större mängd organiskt material - när halmen lämnades kvar på fältet blev denna faktor 3,7 (år 1997) och då den togs bort 1,5 (år 2001). Skördenivån var lite högre, 500 kg, år 1997.

Analysresultat. Jordarten är i princip densamma på båda gårdarna. Mullhalten skiljer sig i matjorden. Medelgården har något mullhaltig sandig lättlera och plusgården måttligt mullhaltig sandig lättlera i matjorden. I alven är det mullfattig sandig lättlera på båda.

Skrymdensiteten är genomgående lägre på plusgården, vilket tyder på att jorden är kompaktare på medelgården. På båda gårdarna är skrymdensiteten högst i plogsulan, tätt efterföljd av alven. Plusgårdens matjord har lägre skrymdensitet och högre mullhalt än medelgårdens matjord. Låg skrymdensitet och hög mullhalt hänger ofta samman, då mullhalten har en viss utspädningseffekt (väger mindre än mineralpartiklar). På lättare jordar är mullens positiva inverkan på strukturen tydligare och skillnader i mullhalt ger tydligt märkbar effekt, vilket återspeglas i skrymdensiteten.

Från resultaten kan man utläsa att infiltrationen på plusgården var medel i plogsulan och mycket hög i alven, och på medelgården låg respektive hög. Medelgården verkar alltså ha en tätare plogsula och lite mer alvpackning än plusgården, vilket stämmer överens med resonemanget ovan om skrymdensiteterna. Infiltrationen i matjorden på plusgården är låg. Detta kan tolkas som att jorden är tät. Den borde inte vara kompakt eftersom skrymdensiteten är relativt låg. En tänkbar förklaring är att aggregaten inte är särskilt stabila och att jorden därför lätt slammar igen. På medelgården var infiltrationen i matjorden hög (trots högre skrymdensitet och lägre mullhalt än plusgården) vilket indikerar att det finns en del större porer.

Fälttester. Profilbeskrivningen för medelgården talar om lucker matjord som övergår i mer kompakt struktur, en tydlig plogsula och kompakt alv. Detta stämmer med analysresultaten ovan. Sprickor i plogsulan medförde att infiltrationen blev extremt hög i fält, trots dess kompakta karaktär. Cylindrarna som togs ut till analysen togs antagligen där det inte var sprickor, och illustrerar därför endast den kompakta plogsulan.

På plusgården beskrivs matjorden bl.a. som lätt att smula sönder, vilket tyder på att aggregaten är instabila. Detta stöttar resonemanget om att jorden slammat igen i infiltrationsanalysen. Fältmätningarna gav även att plusgården hade låg infiltration i plogsulan och mycket hög i matjord och alv, vilket tyder på närvaron av en kompakt plogsula. Plusgården hade fler porer än medelgården, i synnerhet i alven, vilket är en tydlig indikation på att maskar och rötter trivs även längre ned i marken.

Generella slutsatser. Indexresultaten för växtföljden verkar stämma med hur förhållandena uppfattades i fält. Plusgården fick strax över noll i indexet, och strukturen uppfattades som ”hyfsad” i fält. Medelgårdens resultat blev relativt låga, och strukturen uppfattades som sämre.

Att medelgårdens växtföljd verkligen orsakar mer markpackning i märktes i fält och på de höga skrymdensiteterna. Den stora ärttröskan och det kraftigare plöjningsekipaget har säkert inverkat på den massiva alv som noterades och på dess låga skrymdensitet. Testerna visade även på färre rötter och porer samt gav indikationer på kraftigare plogsula.

Skillnaderna i matjordens mullhalt mellan gårdarna kan ha orsakats av att växtföljden genererar mer mull på plusgården. Den hade måttligt mullhaltig jord, och medelgården något mullhaltig jord. I indexet ger plusgården totalt 17,8 i organiskt material och 19,3 i rötter, och medelgården 16,0 respektive 15,6.

På plusgården förekom fler stora porer, lägre skrymdensiteter, högre mullhalt och högre infiltration i plogsula och alv, än på medelgården. Detta tyder på att plusgården har bättre markstruktur varför det verkar rimligt att den får bättre resultat i indexet.

Par 3 (olika odlingssystemskördenivå)

Medelgården är helt inriktad mot växtodling och odlar på 135 ha totalt. Brukaren har även annan verksamhet vid sidan om jordbruket. Av gårdsarealen är 22 ha ett arrende beläget 3-4 km från huvudgården, vilket har arrenderats sedan 80-talet. Lerhalten varierar mellan lätt- och mellanlera inom och mellan fälten. Det är på arrendet som provtagningarna skett. Skiftet som undersökts är något oregelbundet och systemtäckdikat (16 m). Växtföljden består huvudsakligen av höstsäd och sockerbetor, men även konservärt och hösträps ingår i den.

Plusgården har 30 ha odlingsmark med bra arrondering. Lerhalten varierar mellan lätt- och mellanlera inom och mellan fälten. Växtodling dominerar, men man har även en del (ca 30 st.) köttdjur och lite grisar. Tidigare har det funnits mjölkproduktion. Det är en släktgård. Jordbruket är huvudverksamheten, men brukaren har även vissa inkomstbringande bisysslor. Skiftet som undersökts är regelbundet och behovsdikat. Utöver sockerbetor och spannmål ingår även vall i växtföljden och man sprider fastgödsel på höstvetet.

Ett urval från gårdarnas maskinparker presenteras i tabell 44. Utförligare beskrivning av dessa, samt bearbetningar, sådd, skörd och övriga indata som använts i modellen, liksom resultat från odlingssystemindexet, redovisas i bilaga 12.

Tabell 44. Ett urval från maskinparkerna (par 3). Största traktorn används vid plöjningen

	Traktorer	Plog	Tröska	Betupptagare	Övrigt
Medelgård	5 st à 4,5-8,0 ton	5 skär	13 ton + 6 ton last	3-radig, 8 ton + 7 ton last	Ärttröska 18+2 ton last
Plusgård	2 st. à 3,8 & 5,7 ton	3 skär	3,4 ton + 2 ton last	1-radig, 3,5 ton + 3 ton last	Gödselspridare 2,3+8 ton last

Odlingssystem

I indexet fick medelgården -1,8 för växtföljden (tabell 45). Ärtorna och sockerbetorna är de mest negativa, höstveten den mest positiva grödan. Resultatet i indexet för plusgården blev ett medel på +5,4 (tabell 45). Den tvååriga vallen ger extremt höga värden.

Tabell 45. Resultat av odlingssystemindex på Par 3

År	Gröda	Org mtrl	Rötter	Torkdagar	Barmark	Packning	Över- farter	Summa gröda	Medel Växtföljd
<u>Medelgård</u>									
1995	Höstråg	4,2	5,6	5,3	-2,0	-5,8	-2,3	5,0	
1996	Sockerbetor	5,3	0,3	6,5	-5,2	-8,0	-4,0	-5,0	
1997	Konservärt	0,9	1,1	4,7	-5,8	-9,8	-2,3	-11,3	
1998	Höstraps	3,5	4,7	3,5	-1,3	-5,8	-3,3	1,3	
1999	Höstveten	4,5	6,0	5,8	-2,4	-2,7	-3,3	7,8	
2000	Sockerbetor	5,6	0,4	6,5	-9,2	-8,0	-4,0	-8,7	-1,8
<u>Plusgård</u>									
1995	Vall	1,0	6,6	9,0	0,0	0,0	-2,3	14,3	
1996	Vall	0,8	5,6	9,0	0,0	0,0	-2,3	13,1	
1997	Sockerbetor	6,1	0,4	6,5	-5,2	-2,7	-3,7	1,5	
1998	Vårkorn	1,4	4,4	0,7	-1,6	-2,6	-3,3	-1,1	
1999	Höstveten	5,0	6,0	5,8	-2,0	-2,7	-5,3	6,8	
2000	Sockerbetor	7,1	0,4	6,5	-9,3	-2,7	-4,0	-1,8	5,4

Analysresultat

Analysresultaten för medelgården visar på mycket högre skrymdensitet i plogsula och alv än i matjorden, samt låg infiltration i plogsulan (tabell 46). På plusgården är skrymdensiteten något lägre än medelgårdens, utom i matjorden. Plusgårdens infiltration är hög i plogsulan och mycket hög i matjorden och alven. Jordarten är densamma på båda provplatserna.

Tabell 46. Analysresultat för Par 3

Skikt	Texturanalys	Skrymdensitet (g/cm ³)	Infiltration (1 tim)
<u>Medelgård</u>			
Matjord	mmh Sa LL	1,47	Mycket hög
Plogsula	-	1,70	Låg
Alv	Mf Sa LL	1,68	Hög
<u>Plusgård</u>			
Matjord	mmh Sa LL	1,49	Mycket hög
Plogsula	-	1,68	Medel
Alv	Mf Sa LL	1,66	Mycket hög

Fälttester

När dessa utfördes det var marken mycket torr på båda gårdarna. Resultat av spadtesten (tabell 47) bör därför tas med en nypa salt. Likaså mängden daggmaskar. På normalgården var provplatsen belägen i fältets norra del. På plusgården låg provplatsen i fältets södra del. Det var extremt svårt att gräva gropen på plusgården, man fick bara loss lite "skrap" vid varje spadtag. Detta gav intryck av att markprofilen var hårt packad i alla nivåer. Grödan (vårvete) var dock frodig.

Tabell 47. Profilbeskrivningar för Par 3

	Medelgård	Plusgård
<i>Matjord</i>	Mellanbrun färg. Sträckte sig till 20 cm djup. Den var lite kompakt men föll lätt sönder i 0,5 cm avrundade fragment som var stabila.	Sträcker sig till cirka 24 cm djup. Aggregaten var 0,5-2cm avrundade fragment med god stabilitet.
<i>Plogsula</i>	Den var 11 cm tjock, kraftig och massiv. Kunde brytas sönder till stabila avrundade-skarpkantade fragment i varierande storlek.	Ingen tydligt markerad övergång i plogsula. Bestod av 5-7 cm avrundade fragment som smulades sönder vid hårt tryck.
<i>Alv</i>	Alven började på 31 cm djup, där var färgen grå. Den var massiv men lättare att bryta sönder än plogsulan och kunde även den brytas sönder till stabila avrundade-skarpkantade fragment i varierande storlek	Ljusare ton på jordens färg vid 30 cm djup indikerade alvens början.
<i>Daggmaskar</i>	Inga daggmaskar syntes vid grävning av hela gropen.	Inga daggmaskar upptäcktes, men det fanns stora fina maskgångar både i plogsula och alv.

Övriga fälttester. Medelgården uppvisade många porer och extremt/mycket hög infiltration (tabell 48). Fältet hade stora sprickor i plogsulan. Plusgården hade extremt hög infiltration i matjorden, men eftersom marken var hård kunde infiltrationsramarna inte tryckas ned i plogsula och alv.

Tabell 48. Resultat av fälttester på gårdarna i Par 3

Skikt	Struktur/spadtest	Rötter	Porer < 2 mm	Porer > 2 mm	Infiltration
<u>Medelgård</u>					
Matjord	Extremt tät	Många	Svårt att se	Svårt att se	Extremt hög
Plogsula	Extremt tät	Få	Många	5	Extremt hög*
Alv	Extremt tät	Mycket få	Många	8	Mycket hög
<u>Plusgård</u>					
Matjord	Tät	Många	Svårt att se	Svårt att se	Extremt hög
Plogsula	Extremt tät	Allmänt/många	Få	1	..**
Alv	Extremt tät	Allmänt	Extremt många	10	..**

*Tydlig plogsula med stora sprickor **Lyckades ej få ned infiltrationsramen i marken

Diskussion

Först diskuteras utfallen i varje enskild del av resultaten. Detta avslutas sedan med en mer övergripande diskussion där de olika delarna knyts till varandra.

Odlingssystem. Plusgårdens index på +5,4 är mycket högre än medelgårdens på -1,8. Detta har tre huvudorsaker.

- Plusgården har många lätta, och medelgården många tunga, maskiner och redskap. På plusgården är plöjningen det enda moment som orsakar alvpackning i modellen. Den är låg, kring -2,7 varje år, utom de två vallåren när det är 0. Medelgården packar alven kraftigt varje år. Med undantag för ett år då indexet för packning ligger på -2,7, och ett när det är -9,8, varierar indexet mellan -5,8 och -8,0.
- Plusgården har vallodling 1/3 av växtföljden. Denna genererar stor rotmängd, många torkdagar, ingen barmark, ingen packning och få överfarter (andra skörden betas).
- Medelgården har konservärter. Dessa ger extremt lite organiskt material och rötter, och mycket barmark. Dessutom tröskas de med en mycket tung ärttröska på 13 ton (19 ton när den är full).

Socketbetorna drar ner växtföljdens index på båda gårdarna, p.g.a. liten rotmängd, många och tunga överfarter och stor andel bar mark. Positivt med betorna är den stora mängden organiskt material. På medelgården används en treradig betupptagare vilken orsakar mer markpackning än t.ex. stråsåd. Att plusgården får mindre minus än medelgården vid betodlingen beror dels på att betorna skördas med en enradig betupptagare, som orsakar mindre markpackning. Och dels på att skörden är större, vilket genererar mer organiskt material. Dessutom har betorna vall som förfrukt ett år, vilket minskar antalet barmarksdagar.

Höstvete gav bra resultat på båda gårdarna. Dess höga skörd gav mycket organiskt material. Höstvete, liksom andra höstsådda grödor, håller marken bevuxen en större del av året och utvecklar ett djupt rotsystem med stor rotmassa och god upptorkning. Plusgården tillför stallgödsel till höstvetet, trots detta blir dock skillnaden i indexet för organiskt material marginell, plusgården har +5,0 och medelgården +4,5. Orsaken till att skillnaden inte blir större är halmhanteringen; medelgården låter halmen ligga kvar på fältet medan plusgården transporterar bort den. Skörden är densamma (9 ton) på båda gårdarna. På medelgården

djupkultiverar man efter höstvetet i stället för att plöja, vilket gör att markpackningen det året blir mindre än övriga år och ungefär samma som på plusgården. Själva plöjningen orsakar mer packning på medelgården än plusgården då den förra använder ett mycket större ekipage.

Analysresultat. Båda gårdarna har måttligt mullhaltig sandig lättlera i matjorden och mullfattig sandig lättlera i alven, så den bör inte ha någon större inverkan på skillnaderna i skrymdensitet vid en jämförelse mellan gårdarna.

Matjordens skrymdensitet är mycket lägre än den i plogsula och alv på båda gårdarna. Delvis beror resultatet på en utspädningseffekt (organiskt material väger mindre än mineralämnen). Men detta kan även indikera att matjorden är lucker, något som stöttas av att infiltrationen i matjorden är mycket hög på båda gårdarna. Skrymdensiteten i plogsulan är markant högre än i matjorden, vilket tyder på att den är tät. Alvens höga skrymdensitet indikerar att den är kompakt. Vid jämförelser med infiltrationen tycks en utpräglad plogsula finnas, i synnerhet på medelgården som har låg infiltration i plogsulan och hög i alven. Plusgården uppvisar bättre vattengenomsläpplighet i dessa skikt: medel i plogsulan och mycket hög i alven.

Fälttester. Fälttesterna för medelgården stämmer väl överens med resonemangen ovan. Den uppvisar en kraftig plogsula och alven uppfattades som kompakt. Matjorden föll sönder i stabila 0,5 cm aggregat, vilket indikerar hyfsat god struktur. Många rötter i matjorden och få respektive mycket få i plogsula och alv, tyder på att rötterna har vissa problem med att tränga ner i djupare i profilen. Många små porer fanns dock, och även stora porer förekom. Dessa borde kunna utnyttjas av rötterna. Infiltrationen var extremt/mycket hög i profilen. Den tydliga plogsulan verkar enligt det sistnämnda inte vara så farlig.

I jämförelse med medelgården hade plusgården djupare matjordslager med mindre aggregat och inte lika tydligt markerad plogsula. Det fanns fler rötter i plogsulan och alven än på medelgården och extremt många porer. Stora maskgångar var tydliga även i alven. Allt detta tyder på att markstrukturen på plusgården var bättre än medelgården, vilket också utfallet i laboratorieanalyserna ovan visade.

Generella slutsatser. Utfallen i indexet överensstämmer generellt med vad fälttester och laboratorieanalyser indikerat. Medelgården, som utsätter marken för mer packning, hade en tydlig plogsula enligt profilbeskrivningen i fält och i laboratorieanalyserna. Plusgården, som behandlar jorden ganska milt hade en struktur i fält som uppfattades som bättre än medelgårdens, även om ännu bättre resultat i fält förväntas. Plusgården uppvisade dock massor av små, och några riktigt kraftiga, porer i alven, mer rötter än medelgården, och inte lika utpräglad plogsula. Man kan tycka att plusgården med sin vall och stallgödsel skulle haft högre mullhalt och lägre skrymdensitet än medelgården, men analyserna visade här endast på marginella skillnader.

Sprickorna i plogsulan på medelgården, vilka orsakade den extremt goda infiltrationen, torde bero på att man djupkultiverat två år tidigare. Cylindrarna till laboratorieanalyserna har antagligen tagits ut i jorden där plogsulan är hel p.g.a. svårigheterna med att ta ut dem i kraftiga sprickor. I detta fall kanske infiltrationstestet i fält bättre illustrerar den faktiska situationen.

UTVÄRDERING AV FÄLTTESTER

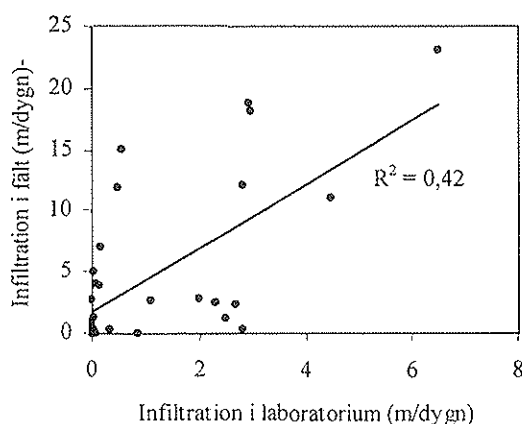
Utvärderingen av fälttesterna har skett på två sätt. Dels har resultaten av fälttesterna jämförts med utförda analyser i laboratorium och med gårdarnas odlingssystem och dels har de utvärderats utifrån hur de har fungerat rent praktiskt.

Fälttesternas överensstämmelse med laboratorieanalyser och odlingssystem

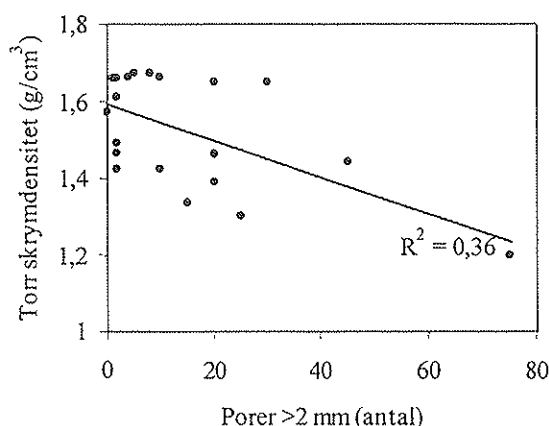
Fälttesterna har jämförts med laboratorieanalyser bestående av torr skrymdensitet, infiltration efter en timme och infiltration efter 24 timmar (ej på pargårdarna). Dessutom har fälttesternas överensstämmelse med odlingssystemen undersökts. Resultaten från odlingssystemindex sammanfattas i bilaga 2. En sammanfattning av resultaten från fälttester och laboratorieanalyser finns i bilaga 6. I bilaga 5 redovisas resultaten av den mekaniska analysen.

Jämförelser mellan fälttester och analyser i laboratorium

I regel blev resultaten av *infiltrationsmätningarna* i fält ett eller två steg högre på skalan än motsvarande i laboratorieanalysen (figur 37). I enstaka fall var de samma eller lägre (t.ex. Wiggeby ogödslat fält). I laboratoriet görs mätningarna under vattenmättade förhållanden. Vid mätningarna i fält håller man på en liter vatten före själva genomsläpplighetsmätningen, men detta har troligtvis varit för lite för att mätta jorden. I övrigt var överensstämmelsen relativt god. I de flesta fall har fälttesterna speglat samma tendenser till täta eller väl-dränerande förhållanden som laboratorieanalyserna. I vissa fall har plogsulan haft låg infiltration i laboratorieanalysen och mycket högre i fält (Hacksta, ej frövall), antagligen har stora porer eller sprickor påträffats i fält. Båda mätningarna speglar de aktuella förhållandena och illustrerar variationen i marken.

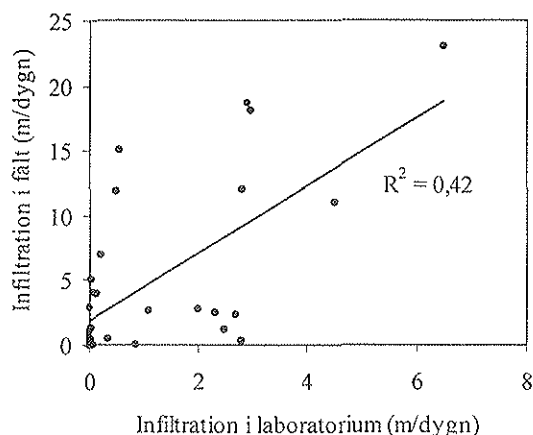


Figur 37. Förhållandet mellan infiltration i fält och i laboratorium (mätdata är från majoriteten av mätningarna, undantagen är där noll erhållits i båda fallen, där sprickor funnits eller där fältmätning ej gått att genomföra).

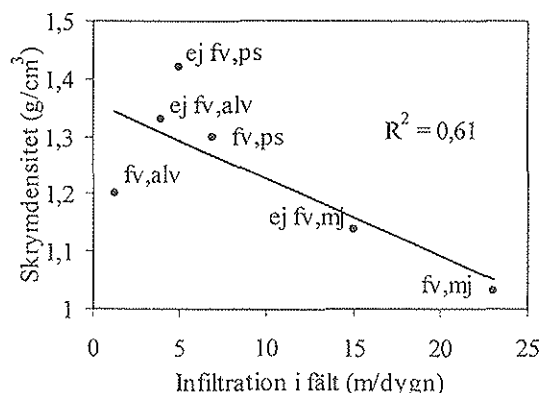


Figur 38. Förhållande mellan porer och skrymdensitet i plogsula och alv (alla gårdar utom Broby/Åbylund).

I många fall har högre porantal i fält visat samband med lägre *skrymdensitet* (figur 38), ibland har även samband med fler rötter syns (Hacksta med frövall). Två fall (Broby/Åbylund och Par 3) skiljer sig markant. I dessa har de jämförda jordarna haft samma skrymdensitet och jordart, men den ena (Broby resp. plusgården) betydligt fler porer och rötter. Infiltrationen och skrymdensiteten visar tydliga tendenser till samband (figur 39), i synnerhet på Hacksta. Där var infiltrationen i fälttestet högre och skrymdensiteten lägre med vall än utan vilket visas i figur 40, figuren illustrerar även tydligt att matjorden (båda fälten) hade lägre skrymdensitet och högre infiltration än djupare skikt i marken.

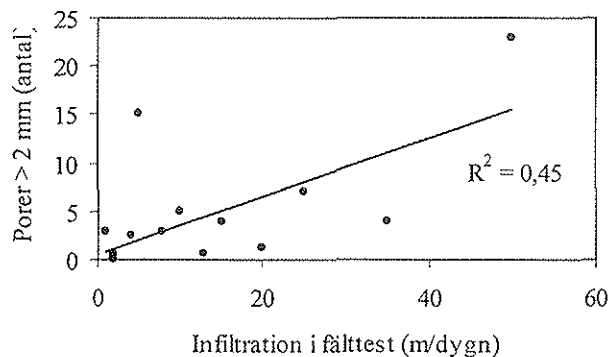


Figur 39. Skrymdensitet och infiltration i fälttest för alla gårdar.



Figur 40. Skrymdensitet och infiltration i fälttest för Hacksta (fv = frövall, mj = matjord och ps = plogsula).

På Broby hade fältet med mycket rötter och många porer även hög infiltration vilket stämmer med alla ovan nämnda parametrar, utom just med skrymdensiteten. Den del av profilen som haft flest porer och högst infiltration, i förhållande till övriga delar av profilen, har vanligtvis också haft lägst skrymdensitet. I de flesta fall har det funnits tendenser till samband mellan mängden större porer och infiltrationen, dock inte i alla (figur 41). När porerna varit få har infiltrationen oftast varit ganska låg (utom där det funnits sprickor i marken), och i de fall de varit många har infiltrationen oftast varit hög.



Figur 41. Porer och infiltration i fält (värden tagna från de 17 (av 22) mätningar som visade bäst samband).

Hur *aggregatstabiliteten* uppfattades i fält pekade på samma resultat som laboratorieanalyserna. Aggregaten i matjorden kändes sällan lika stabila som längre ned i profilen. Infiltrationen i laboratoriet var i regel lägre i matjorden efter 24 timmar än efter en timme, vilket indikerar att porerna rasat samman. I de djupare skikten var infiltrationen densamma efter en timma som efter 24 timmar, vilket tyder på att porerna var stabila. I ett fåtal fall var den högre vid andra mättillfället (vilket kanske kan förklaras med att porerna eroderat, eller att någon daggmusk hunnit gräva ett hål).

Markstrukturtest med spadtramp har givit varierande resultat. På 4T-gårdarna var marken mycket torr och därför stenhård, och resultatet stämde inte med övriga intryck. På Hacksta återspeglades de tydliga skillnaderna mellan fälten i tramptestet; frövallens luckrare struktur gav positivt utslag. Men resultaten enligt skalan var ändå medelmåttiga. Jämfört med den höga infiltrationen som erhöles borde strukturtestet ha gett bättre resultat. På de övriga gårdarna visade testet i regel att marken var tät eller extremt tät, vilket endast i undantagsfall (Västraby) stämt väl överens med övriga mätdata.

Fälttesternas resultat i förhållande till odlingssystemens utformning

De enskilda delarna av fälttesterna har givit varierande resultat. Sammanvägda ger de dock en bild av markstrukturen som överensstämmer reativt väl med gårdarnas odlingssystem. På Wiggeby visade fälttesterna på tendenser till mer porer, fler maskar och lägre skrymdensitet på fältet där stallgödseln spridits (tabell 20, 21 och 22). På Hacksta hade fältet med frövallen mycket bättre markstruktur, mer rötter och fler daggmaskar och mindre utpräglad plogsula än de andra (figur 40, tabell 25 och tabell 26). På Broby/Åbylund var hela profilen massiv på fältet där gödseln spridits med tunna, medan den på fältet med slangspridning hade fler rötter, porer och högre infiltration (tabell 29 och 30). På den senare syns även på plogsulan att plöjningen där orsakar mer markpackning än på den förra. På Västraby där tre- och sexradiga betupptagare jämfördes hade båda fälten tydliga packningsskador som resultat av gårdens tunga maskinpark (tabell 33 och 34). På Kullsegård märktes tydligt skillnaderna markstruktur mellan olika jordarter (tabell 37 och 38). Par 2 visade tydlig plogsula på båda gårdarna men mer porer i alven på plusgården (tabell 42 och 43). Medelgårdarna både i Par 2 och Par 3 hade djupkultiverat och brutit upp plogsulan, vilket tydligt illustrerades i fälttesternas infiltration och när man tittade på profilen. På Par 3 illustrerades skillnaderna i växtföljd och maskinpark tydligt i fälttesterna (tabell 47 och 48). På medelgården hade rötterna svårt att tränga djupare ner i profilen och porerna var färre.

Av de ovanstående exemplen och utvärderingarna av analysdata kan man dra slutsatsen att det absolut är av värde att göra fälttesterna, men man bör inte bara göra ett av testen, t.ex. infiltration eller räkna porer, utan flera. Detta för att få en så rättvisande bild som möjligt då enskilda test kan vara missvisande.

Utvärdering av fälttesternas utformning och tillämpbarhet

Vi utförde fälttestet på samtliga gårdar. Nedan följer våra erfarenheter och tankar kring hur det fungerade rent praktiskt för oss. Avsikten har också varit att tänka på hur testet kan uppfattas av, och förenklas för, en person som inte har utfört något liknande förut.

Allmän profilbeskrivning och jordartsbedömning

Att finna plogsulans början och slut kan ibland vara svårt. Man får sticka i gropväggen med kniven och försöka känna var det är hårdare respektive lösare. Att bedöma om den är ”medel” eller ”kraftig” kan också vara svårt. Det kräver att man har något att relatera till, vilket man också får när man grävt flera gropar och stött på olika förhållanden. När man gör den allmänna profilbeskrivningen kan några exempel på vad man ska titta efter vara till hjälp, om man inte gjort sådant förr. Sådant som kan anges är förekomst av tydliga horisonter (skikt med olika utseende), färgskiftningar, rost, sprickor, sten, grus, halmrester, sprickor osv.

Jordartsbestämningens utrullningsprov fungerar bra för en grov bedömning av lerhalten. Man måste dock rulla med jämnt tryck. För en mer ingående bedömning krävs erfarenhet. Ler och mull ger vissa likartade egenskaper. Således kan en högre lerhalt i vissa fall förväxlas med en högre mullhalt. Mullhalten på mineraljordar är mycket svårbedömd med metoden att bedöma jordens färgnyans.

Markstruktur och förtätade zoner

Tramptestet med spaden är enkelt och illustrativt att utföra. Vi har erhållit varierande resultat. Detta tror vi beror på att marken vid de flesta gårdsbesöken var mycket torr, vilket gjorde jordarna hårda och svårgrävda. Således fick de oförtjänt dåligt resultat. Marken måste vara fuktig om testet ska fungera. Skalan från 1-7 tramp skulle kunna ersättas av lätt/medel/hårt att gräva. Risker med det skulle dock kunna vara att det blir svårt att jämföra *hur* ”medel” (t.ex.) det kändes att gräva på ett fält jämfört ett annat, eller hur det var i föl.

Den allmänna strukturbeskrivande delen är enkel och lätt avklarad. Även aggregatens stabilitet är enkel att bedöma. Skalan (tabell 12) är lagom grov och beskrivningen mycket bra. Bedömning av aggregatens form fungerade för oss som hade viss vana. Särskilt efter att vi avklarat några gropar och bestämt oss för hur vi skulle betrakta aggregaten (som sällan är skolexempel). Detta moment kan vara svårt för någon som inte har tidigare erfarenhet. Kanske är skalan för bred och exakt. Vi hade vissa bekymmer ibland med att avgöra aggregatens storlek, det kändes som om de kunde vara precis hur stora eller hur små som helst. Den brittiska modellen för beskrivning av aggregaten (tabell 13) upplevde vi som bra vägledning vid strukturbeskrivningen.

Rotutveckling, porer och maskförekomst

Gårdarna besöktes under juni och juli varför vi fick bedöma det maximala rotdjupet utifrån gamla rötter. På årets gröda var mängden grova rötter av förklarliga skäl obefintlig. Maximalt rotdjup som grödan nått till var enkelt att mäta. Att skilja på tunna och mycket tunna rötter kändes överflödigt.

Det var svårt att se porer i matjorden p.g.a. dess lösa karaktär. Längre ned smetar man gärna igen de små porerna eftersom man vill göra ytan jämn, p.g.a. att måttet är antal/dm² (antal/cm² hade kanske varit bättre). Vi övergick så småningom till att bryta loss en jordkoka och titta på brottytan, där var porerna tydligare. Kanske borde man nöja sig med bedömningsskalan: inga - en del - många porer.

Mätning av maskfrekvensen gav för vår del låga resultat. Som tidigare nämnts var det dock vid flera gårdsbesök mycket torrt i marken och då befinner sig maskarna längre ner i jorden. Ibland såg vi många maskgångar och maskbajs, men inga eller ett fåtal maskar. Även vid denna del av fälttestet är det alltså viktigt att marken är fuktig. Vi gav upp metoden och övergick till att bedöma antalet maskar vi fann totalt under gropgrävningen. Även vid tillfällen med högre markfukt fann vi förhållandevis dåligt med mask. Enligt bedömningsschemat i tabell 10 är maskfrekvensen "bra" om man finner 6-10 daggmaskar i en spadfull. Vi uppfattar det som bättre än "bra", och funderar på om skalan är för krävande.

Markens infiltrerbarhet

Ett enkelt och pedagogiskt test som intresserade flera av de lantbrukare vi träffade. När vattnet inte sjönk undan snabbt nog avslutade vi mätningarna efter 10-20 minuter, ibland hade vi tid att låta det stå längre. När man mäter med tumstocken hur mycket vattenytan sjunkit är det lätt att missta sig på några millimeter (särskilt som markytan sällan blir exakt vågrät), vilket kan ha ganska stor inverkan på resultatet under en längre tidsperiod. Mättiden borde vara längre för att vara mer exakt, men då riskerar man att momentet blir för tidskrävande och känns jobbigt.

Det var svårt att få ner ramen ibland, särskilt i plogsula och alv. Vid något tillfälle tog vi en kraftig sten och bankade med. Fuktigare jord hade antagligen underlättat. Även i moränjordar kan det vara svårt att få ner ramen och hindra läckage. Våra ramar var fyrkantiga, det skulle kanske vara lättare att använda något runt, såsom ett avkapat PVC-rör. En mer avancerad variant skulle vara att även sätta handtag på röret, så man kunde skruva ner det. Eller ha en platta ovanpå och en slägga att slå ner ramen med.

En del porer blir igensmetade när man jämnar till ytan, vilket minskar infiltrationen. Ibland gjorde vi en brottyta och satte ramen i (när vi sett flera stora porer men infiltrationen ändå var mycket dålig). Då måste man naturligtvis ta tid tills allt vatten sjunkit undan, kvarstående vatten är svårt att mäta eftersom brottytan är ojämn. Utformningen av protokollet för infiltrationsmätningar är knepigt utformat med många kolumner, och lätt att missförstå.

Ambitionsnivåer vid utförande av fälttester

Vi har graderat fälttesterna efter vilka tester vi ansåg gav mest, och vad vi tror är rimligt vid olika ambitionsnivåer:

Nyfiken	allmän profilbeskrivning inklusive allmän beskrivning av strukturen. + titta på rotsystemets utbredning generellt + titta på porerna generellt - verkar de många/få, stora/små? + spadtrampstest (om det är fuktigt i marken)
Intresserad	ovan nämnda punkter + infiltrationstest + dagmaskar / maskporer + aggregatstabilitet
Engagerad	ovan nämnda punkter + porsystem (räkna, dela in i storleksklasser) + rotutveckling (räkna, dela in i grovheter) + bestämning av aggregatens form.

En lite lägre ambitionsnivå kan vara att man gräver en grop i stället för två (en grop på en bra plats och en grop på en dålig). Då bör man välja en plats som är representativ för hur fältet ser ut i allmänhet. Det viktigaste med fälttesterna är att man kommer ut och känner på sin jord.

Vi rekommenderar att man går ihop några stycken och gör fälttesterna tillsammans, det är mer lärorikt och dessutom trevligt (figur 42).



Figur 42. Nyfikna i en grop tittar ihop.

DISKUSSION

Generellt sett har indexet fungerat bra och det gav de utslag och skillnader som vi hade hoppats på för fallen vi prövade, både i projektet "Odling i balans" och "4T". Resultaten i indexet stämde också väl överens med resultaten från fält och laboratorieanalyserna. Det visar att det faktiskt går att få en indikation på hur odlingssystemet påverkar markens struktur utan att ta till tidskrävande och dyrbara prover och analyser. Indexet eller fälttesterna ger ingen exakt diagnos av markens fysikaliska status men en fingervisning om huruvida gårdens odlingssystem påverkar markstrukturen positivt eller negativt på lång sikt.

Medan vi jobbat med indexet har det dykt upp tankar och funderingar kring vad som saknas och vad som kan göras bättre i och omkring det. Vissa ändringar har gjorts under arbetets gång. De vi inte hann med, men tycker är viktiga, har vi valt att diskutera i detta avsnitt.

Parametrarna i odlingssystemindex

Datormodellens behandling av de sex parametrar som odlingssystemdelen i markstrukturindexet är uppbyggt av diskuteras var för sig nedan.

Organiskt material

I modellen beräknas det från växten härstammande organiska materialet utifrån grödans avkastningsnivå, och förhållandet mellan dessa antas vara direkt proportionellt. Det kan dock tänkas att detta förhållande avtar när skörden når en viss nivå. Att mängden organiskt material blir mindre i förhållande till skörden när grödan avkastar mycket. Anledningarna skulle kunna vara (minst) två. Dels att grödans bladyta, när den nått en viss storlek, fungerar relativt effektivt och inte behöver öka så mycket för att ta upp koldioxid och ljusenergi för att försörja en ytterligare ökning i kärnsköörden. Dels att växtförädlingen arbetar med att få fram varianter som lägger större andel av sin biomassa i kärnorna. De grödor som avkastar mycket kan tillhöra dessa förädlade sorter, med en annan fördelning mellan kärna och strå.

Man kan i modellen ange om halmen lämnas på fältet eller förs bort. Om man anger att den bortförs antas 1/3 bli kvar på fältet i form av stubb och boss. Vissa gårdar bränner halmen, vilket medför att i princip inget blir kvar av den. Detta alternativ finns inte med i modellen.

Kvaliteten på mullråämnet som tillförs, antingen i form av skörderester eller som tillfört externt organiskt material, har betydelse för humusbildningen. Komposterat material t.ex. har mer positiv effekt på mullhalten än grüngödsling. Modellen tar inte hänsyn till detta, utan det är bara kvantiteten (mängd och ts-halt) som räknas.

Vad gäller viktningen av det organiska materialet i indexet kan man generellt säga att dess betydelse för markstrukturen varierar med jordarten. En styvare jord är inte lika beroende av mullhalten för sin struktur som en lättare. På lättare jordar skulle det organiska materialet behöva viktas högre eftersom det där har avgörande betydelse för många markfysikaliska egenskaper.

Rotmängd

Liksom det från växten härstammande organiska materialet beräknas rotmängden utifrån skördens storlek, och relationen mellan rotmassa och skörd antas vara direkt proportionell. Man kan även här föreställa sig att proportionerna varierar under olika förhållanden, och att andelen rötter i relation till avkastningen eventuellt minskar med ökad skörd över en viss skördenivå. Det är även så att grödan satsar på att utveckla rötter vid dåliga förhållanden (t.ex. vatten- och näringsbrist), och satsar på skotttillväxt vid goda förhållanden. Utifrån detta kan man resonera som så, att en gröda som avkastar över normalskörd har utvecklats under goda betingelser och därför har en mindre andel rötter i förhållande till skörden än en med lägre avkastning.

Eventuellt skulle rotmassan behöva viktas högre i modellen. Som modellen fungerar nu kan rotmassan variera en hel del utan att ge särskilt stort utslag i indexet, men dessa variationer kan ha stor betydelse för markstrukturen. På enkelkornjordar är rötternas bidrag av organiskt material av störst betydelse. På lerjordar att de har positiv inverkan på upptorkningen, skapar sammanhängande porsystem och stabiliserar aggregaten i marken, samt skapar goda betingelser för markorganismerna. För mjälajordar och andra problemjordar är alla ovan nämnda egenskaper viktiga. Rötternas möjlighet att påverka markprofilen nedanför bearbetningsdjupet är av stor betydelse. Ett bra rotsystem kan reparera marken genom att luckra plogsula, alv eller andra täta skikt och lämna rotkanaler till efterföljande grödor.

Upptorkning

Upptorkningen i indexet är väl genomtänkt och det ligger mycket arbete bakom för att få den dit den är idag. Det finns dock några saker som kunde fungera bättre. I dagsläget är det endast årsmånsvariationen under sommaren som påverkar hur stark upptorkningen blir. Detta kan stämma på vårsådda grödor men för fleråriga grödor såsom vall skulle årsmånsvariationerna för hela växtodlingssäsongen alltså vår, sommar och höst behöva beaktas för att få ett rättvist mått på upptorkningen. På fält med höstsådda grödor skulle upptorkningen inte bara påverkas av förhållandena på sommaren, utan även på våren. Förhållandena på hösten inverkar antagligen inte nämnvärt eftersom beståndet då är glest med begränsat rotdjup.

Lättare jordar torkar ut snabbare än styva och får därmed ett högre värde i indexet. Struktureffekten från upptorkning på en lättare jord med enkelkornstruktur är mycket liten vid jämförelse med en lerig jord där ett omfattande spricksystem kan bildas om förhållandena är de rätta. När en jord med enkelkornstruktur torkar ut är det ofta mycket negativt för grödan då det inte finns något vatten att ta upp i matjorden och rötterna har ofta inte någon möjlighet nå djupare. När en lerjord spricker upp möjliggör detta för rötterna att ta sig ner på djupet och finna nytt vatten som de kan ta upp. Upptorkningen borde därför viktas lägre för enkelkornjordar än på aggregerade.

Bar ofrusen mark

I indexet ger alla grödor fullgott markskydd så fort beståndet täcker markytan. Till exempel har lin, som ger ett mycket glest bestånd i jämförelse med en stråsädesgröda, lika bra täckning som höstvetete i indexet. Vi tycker att man borde skilja på grödor utifrån hur frodigt beståndet är och därmed även hur gott markskydd de ger. Som ännu ett exempel kan vi ta att en

höstgröda ger lika bra marktäckning under hösten och vintern som den ger under våren och sommaren trots att beståndet är betydligt glesare under hösten.

I indexet är det inte heller möjligt att anpassa bearbetningarna på hösten. I indexet kommer fältet att stubbearbetas 2 dagar efter skördad stråsädesgröda och 5 dagar efter skördade sockerbetor eller potatis. Antalet barmarksdagar under hösten räknas fram tills dess att snön/tjälen kommer eller tills höstgrödan täcker marken. Det skulle vara bra att själv kunna lägga in när man gör stubbearbetningen. Det kan även diskuteras om mark som bara är stubbearbetad, där det ligger förhållandevis mycket skörderester och marken är ojämn skall vara lika känslig för yttre påverkan som plöjd jord. Det är inte heller möjligt att vårplöja i indexet vilket idag är en vanlig åtgärd på lättare jordar, särskilt om man utnyttjar fånggrödesystemet.

Markpackning

En viktig aspekt som inte indexet tar hänsyn till är de yttre förhållandena vid körning. Där orsakar körningen lika mycket packning under torra som blöta förhållanden. I praktiken är marken känsligare för packning vid blöta förhållanden och alvskadorna blir betydligt mer omfattande. Ett sätt att komma till rätta med problemet är att sänka den kritiska belastningen till lägre nivåer beroende på hur blöt jorden är. Svårigheten är att veta hur mycket man bör sänka den kritiska belastningen vid olika fuktighetsförhållanden. En annan aspekt som man kan föra in i resonemanget är om jordarters känslighet för packning skiljer sig åt vid samma fuktighetsförhållanden. En styv jord torde påverkas mer negativt vid körning under fuktiga förhållanden än en jord med enkelkornstruktur.

Körsträckefaktorn i packningsmodellen var från början direkt kopplad till fältets arrondering. För att öka flexibiliteten valde vi att själva anpassa faktorn och ta hänsyn till vilken slags körning som utfördes. Vi utarbetade schabloner för körsträckefaktorn beroende på körningen som gjordes. Det skulle behöva utarbetas en mer utförlig lista över dessa. Där bör även vävas in antalet in- och utfarter som finns på fältet, då även detta påverkar körsträckefaktorns storlek.

Vid bearbetningar som kräver mycket dragkraft från traktorn såsom plöjning och djupkultivering kommer traktorns vikt att förskjutas mot dess bakaxel. Tyngden på traktorns bakaxel kommer att öka i proportion till hur tung bearbetningen är. För att få med denna viktökning valde vi att lägga in en faktor som ändras beroende på vilken bearbetning som görs och multiplicera med den ursprungliga vikten på traktorns bakaxel. Vi lade endast in faktorer för plöjning (1,5), djupkultivering (1,35) och harvning (1,25). Det skulle behöva framarbetas fler faktorer till exempel vid sådd med en kombisåmaskin som är tung att dra och även vid andra överfarter. Det finns inte heller någon möjlighet att anpassa traktorns viktfordelning med frontvikter i indexet.

Den kritiska axelbelastningen för plöjning ligger på 3000 kg på grund av att man kör direkt på övre alven där de strukturfrämjande processerna inte är lika effektiva. Vid så låga värden som 3000 kg skulle även framhjulet på vissa traktorer packa, vilket inte beräknas i modellen. Väver vi även in resonemanget kring en lägre kritisk nivå vid blöta förhållanden finns det även en risk att framhjulen skulle orsaka packning i alven vid lägre gränser för kritisk belastning.

När en axel på ett ekipage kommer över kritisk belastning börjar den orsaka alvpackning i indexet. Det skulle vara mer rimligt med en mindre statisk gräns. När axelbelastningen börjar närma sig den kritiska belastningen borde den egentligen orsaka viss packning men inte lika mycket som vid axelbelastningar över den kritiska nivån. Man skulle kunna ha en skala som sträcker sig från noll till ett, där noll skulle vara en viss nivå under den kritiska belastningen och ett när belastningen överstiger den kritiska gränsen.

Antal överfarter

Indexet tar inte hänsyn till vilken sorts körning som gjorts utan beaktar endast hur många som utförts. I viktningen har vi kompenserat lite för detta genom att vikta ner antalet överfarter i förhållande till packningsdelen som i gengäld viktades upp. Anledningen till att vi ändrade det var att skillnaden i antalet överfarter till stor del utgjordes av sprutning och gödning. De är moment som inte orsakar så mycket skada då man ofta använder smala hjul, dessutom har de liten arbetsbredd. Harvning, kultivering och sådd däremot, medför att större delen av jorden täcks av hjulens tryck och bearbetningen medför att jorden slås sönder och ältas. Körningar av detta slag skulle behöva viktas högre än t.ex. sprutning och gödning då de inte sliter lika mycket och risken att köra under dåliga förhållanden är relativt liten och skadorna blir inte lika stora när man gör överfarter som dessa.

Jordart

På lättare jordar och enkelkornjordar skulle organiskt material behöva viktas högre. På mjälajordar skulle barmark behöva viktas högre. På sandjordar kan upptorkningen behöva viktas lägre eller kanske t.o.m. byta tecken. På styvare jordar skulle betydelsen av det organiska materialet kunna viktas lägre. På alla jordarter skulle rotmassa viktas högre. Indexet är antagligen mer lämpat för styvare jordar eftersom vi bara fann en parameter att anmärka på för dessa jordar. Det är antagligen inte helt orimligt att indexet är mer anpassat till dessa jordar, och till de sydligare delarna av Sverige, där huvuddelen av de odlade jordarna finns. De flesta undersökningar och mätningar som görs sker trots allt på dessa jordar.

Förslag på förbättringar i databladens utformning

Databladens utformning kan förändras för att fungera bättre och bli mer användarvänliga.

Modellens upplägg

När man arbetar med modellen borde *alla* enskilda data som skrivs in sparas i ett enskilt dokument. Varje gång som det uppstod ett fel i modellen var vi tvungna att lägga in allt igen efter att felet åtgärdats.

I dagens modell har vi fått räkna ut viktfordelningen på traktorns fram- och bakaxel för hand och anpassa packningsmodellen efter det. Det skulle vara bra med en databas med de vanligaste traktormodellerna inlagda, så att man automatiskt får rätt viktfordelning, då detta har en avgörande betydelse för hur mycket packning traktorn orsakar. Där man anger traktorernas ringtryck borde mer än en kolumn finnas, eftersom samma traktor kan ha olika

ringtryck vid olika arbetsmoment. T.ex. används ett ringtryck vid plöjning och ett annat när man använder dubbelmontage vid harvning och sådd. Vi löste problemet genom att lägga in en och samma traktor två gånger men med olika ringtryck.

Växtodlingsåret betraktas i modellen utifrån grödorna. Det börjar för en aktuell gröda i princip direkt efter att förfrukten skördats (inte från den aktuella grödans sådatum) och pågår tills den nuvarande grödan skördats. På indataarken, däremot, får man upp åren i kalenderår, t.ex. 1998 (jan-dec), vilket lätt missförstås. I stället skulle man benämna året t.ex. "Växtodlingsåret 98/99". Detta skulle medföra att det blev mer självklart var någonstans man skulle fylla i uppgifterna och förståelsen för hur indexet fungerar samt tolkningen av resultaten skulle bli lättare.

Det skulle också vara bra med en överblick för hela växtföljden, där man kunde jämföra antalet torkdagar, andel bar ofrusen mark, packning etc. Detta för att tydligare kunna titta på enskilda gröders bidrag till indexet.

I packningsmodellen skulle vi vilja ha med hur långt ifrån vikten på traktorns bakaxel den kritiska belastningen ligger. Detta för att ha möjligheten att göra en riskbedömning. Om traktorn ligger långt ifrån kritisk belastning behöver man inte oroa sig, men ligger den däremot nära behöver man kanske tänka över situationen innan bearbetningen utförs.

Det kan inte nog poängteras hur viktigt det är att rätt data används för inläggning i modellen. Det är mycket lätt att man endast gör en uppskattning av vikter och ringtryck på traktorer och redskap, vilket kan ge stora skillnader i indexet jämfört med om man skulle använda korrekta värden. Indexet skall vara ett redskap för att se hur det aktuella odlingssystemet påverkar markens struktur på den egna gården, inte för att jämföra gårdar. Det kan vara frestande att jämföra mellan gårdar, men som visades i utvärderingen av hur indexet fungerar på skilda jordarter fungerar det inte så. Det är viktigt att man tänker på att man faktiskt undersöker gårdens förhållanden för sin egen skull. Man kan gärna tävla med sig själv, och undersöka hur gårdens fysikaliska status kan förbättras och genom fälttesterna så småningom märka förändringarna.

Vikten av att göra fälttesterna

Idag är inte modellen och fälttesterna sammanlänkade, man kan utan svårigheter köra modellen separat. Fördelen med det upplägget är att det lätt blir att man bara använder datormodellen. Man kan då välja att inte utföra fälttesterna för att det känns omständigt och tidskrävande. Det är emellertid först när man verkligen tittar ingående på sin jord som man lär sig något om den och ser effekterna av hur odlingssystemet påverkar markstrukturen. För att göra fälttesterna mer inspirerande skulle det kunna utvecklas någon slags nyckel i datormodellen, där man anger resultaten från fälttesterna. För varje parameter såsom infiltration, struktur, porer etc. kan man få ett visst antal poäng. I slutet av nyckeln summeras allt och man får en gradering på själva markstrukturen. Från dessa resultat kan det vara lättare för användaren att dra paralleller till modellens resultat i odlingssystemindexet.

Avslutningsvis

Flera lantbrukare har redan visat sitt intresse att använda sig av indexet vilket vi ser som mycket positivt. Även om indexet inte är färdigutvecklat är det viktigt att intresserade lantbrukare har något att tillgå för att se hur deras odlingssystem påverkar markstrukturen. Vid en fortsatt utveckling av indexet kan lantbrukarna fungera som en resursgrupp, som kan komma med kommentarer och funderingar kring indexet.

Ett index kan alltid utvecklas och föras framåt men det finns en fara i det också. Det får inte bli för komplicerat och invecklat då det ofta är kopplat till hur mycket arbete man behöver lägga ned för att använda det. Lantbrukaren har en smärtgräns vid hur mycket jobb han/hon kan tänka sig att lägga ned på indexet för att få ett bra resultat. Därför är det viktigt att behålla indexets enkelhet och kanske istället finslipa de detaljer som ingår för att få dem att fungera optimalt. Det är viktigt att lyfta fram de faktorer som är av intresse för den enskilde lantbrukaren och väcka intresse för marken och dess funktion.

Ett viktigt användningsområde för indexet är att man kan pröva och se hur olika åtgärder påverkar markens fysik. Det kan bli ett viktigt redskap vid planering av växtföljd, inköp av ny maskiner etc. samt vid beslut av om och när man skall sätta in grundförbättrande åtgärder.

SLUTORD

Det har varit oerhört roligt och inspirerande att få ta del av och vara med om att lägga grunden till ett helt nytt markstrukturindex. Vi tror med största säkerhet att markstrukturindexet kommer att vara en viktig del vid utvärdering och planering av gårdens odlingssystem och både användas av den enskilda lantbrukaren och av rådgivare.

Vägen fram till målet har som alltid kantats både av glädjestunder och av tider med frustration. Glädjestunderna har dock varit de oftast återkommande. Arbetet har inte bara givit oss en djupare förståelse för hur viktigt det är med en god struktur i marken utan även många nya kontakter både inom och utanför universitetet. Dessa människor har inte bara berikat vår tillvaro utan också hjälpt oss på vägen fram till målet.

Först och främst vill vi tacka alla lantbrukare som har tagit sig tid, ställt upp och visat ett oerhört engagemang och intresse. Sedan vill vi tacka Jens Blomquist i 4T projektet för val av gårdar. Vi vill även tacka Lars Törner i projektet Odling i Balans för hans många värdefulla reflektioner och kommentarer kring indexet samt hans ”energi-”ska bistånd under fältdagarna. Och Johan Arvidsson för din hjälp och din förmåga att förenkla och förklara. Tack till alla på Avdelningen för hydroteknik för att ni lät oss bli en del av gemenskapen. Till sist vill vi rikta vår tacksamhet mot vår handledare Kerstin Berglund. Dels för hennes goda råd och hjälp längs vägen men även för att hon klarat av att agera som handledare samtidigt med att vara nybliven mamma, en otrolig källa till inspiration.

REFERENSER

- Andersson, S. 1955. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. VIII. En experimentell metod. Grundförbättring 8, specialnr 2. Uppsala.
- Andersson, S. 1966. Markfysikaliska bördighetskriterier. Ur: Bördighet och Markvärdering. Symposium anordnat av Svenska Markläraresällskapet i Stockholm 23 november 1965. Särtryck ur Svensk Lantmäteritidskrift nr 1. 37-38.
- Andrén, O. Hansson, A.-C. & Pettersson, R. 1987. Contribution to Soil Organic Matter From Four Arable Crops. *Intercol Bulletin* 15. 41-47.
- Arshad, M.A. & Coen, G.M. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* 7 no 1-2. 25-31.
- Arvidsson, J. & Pettersson, O. 1995. Jordpackning och markstruktur. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Aktuellt från lantbruksuniversitetet. Mark/Växter nr 435.
- Avnimelech, Y. 1986. Organic residues in modern agriculture. I Chen, Y. & Avnimelech, Y (red.). *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture. Developments in Plant and Soil Sciences*. Nederländerna. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers. 1-9.
- Backlin, A. 1998. Jord i god kultur. *Jordbruksinformation* 13. Jönköping: Statens Jordbruksverk.
- Batey, T. 1988. *Soil Husbandry: A practical Guide to the Use and Management of Soils*. Aberdeen: Soil and Land Use Consultants Ltd.
- Boone, F., Vermeulen, G.D. & Kroesbergen, B. 1994. The effect of mechanical impedance and soil aeration as effect by surface loading on the growth of peas. *Soil and tillage research* no 32. 237-251.
- Brady, N. & Weil, R. 1996. *The Nature and Properties of Soils*, 11:th ed. Upper Saddle River, New Jersey: The Prentice-Hall Inc. 144-175.
- Campbell, N.A. 1996. *Biology*, 4:th ed., Menlo Park, California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. 666-726.
- Doran, J.W. & Parkin, T.B. 1994. Defining and Assessing Soil Quality. In: Doran, J.W. Ernst, S. (red). *SSSA (Soil Science Society of America) Special Publication no 5. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison: SSSA: ASA (American Society of Agronomy). 3-21.
- Doran, J.W., Jones, A.J., Arshad, M.A. & Gilley, J.E. 1999. Determinants of Soil Quality and Health. In: Lal, R. (Red). *Soil Quality and Soil Erosion*. Boca Raton: CRC, cop.: Soil and Water Conservation Society. 17-36.
- Eckersten, H., Blombäck, K., Jansson, P-E., Karlberg, L., Karlsson, S., Lindroth, A., Persson, B., Persson, G. & Perttu, K. 1998. Biogeofysik - en introduktion. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. f. lantbrukets hydroteknik. Avdelningsmeddelande nr 98 .9.
- Ekström, G. 1927. Klassifikation av svenska åkerjordar. Sveriges Geologiska Undersökning, Ser C, nr 345 (Årsbok 20).
- Eriksson, J., Håkansson, I. & Danfors, B. 1974. Jordpackning-Markstruktur-Gröda. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. Meddelande nr 354.
- Fagerberg, B. & Nyman, P. 1991. Väderdata för vegetationsperioden på 39 orter i Sverige. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Växtodling nr 26.
- FAO. 1974. *Soil Map of the World, Volume 1. Legend*. Unesco, Rom. 59 s.
- Haak, E. 1984. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet. Fakta Mark Växter nr 23.
- Hansen, L. 1961. Hydrometermetoden til bestemmelse af jordens tekstur. Grundförbättring 3. Uppsala. 177-188.

- Hansson, A.-C. 1987. Roots of Arable Crops: Production, Growth dynamics and Nitrogen content. Inst f ekologi och miljövård. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Rapport 28.
- Hansson, A.-C. 1996. Roten till den goda jorden. Holmen, H. & Johnsson, I (red). Forskning om levande naturresurser. Stiftelsen Oscar och Lili Lamms minne 25 år. AB Ruter Press.
- Harris, R.F. & Bezdicsek, D.F. 1994. Descriptive Aspects of Soil Quality/Health. I SSSA (Soil Science Society of America) Special Publication no 35. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Madison: SSSA: ASA (American Society of Agronomy). 23-35.
- Haynes, R. J. & Naidu, R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. Nutrient Cycling in Agroecosystems 51. 123-137.
- Heinonen, R. 1982. Jordens igenslamning och förhårdnande. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala. Speciella skrifter 12.
- Heinonen, R. 1983. Driftsformerna och markens bördighet. Jordbrukets driftformer och miljön, NJF-seminar nr 35. Nordisk Jordbrugsforskning. Nr 1. Oslo: Nordiske Jordbrugsforskernes Forening.
- Heinonen, R. 1985. Markstrukturbildningens teori. Sveriges Lantbruksuniversitet. Fakta Mark/Växter nr. 27.
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. New York: Academic Press. 85-86.
- Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics. San Diego. Academic Press. 545-642.
- Holmes, J., Marshall, T & Rose, C. 1996. Soil Physics, Third Edition. Cambridge: Cambridge university press.
- Hornick, S.B. 1992. Factors affecting the nutritional quality of crops. American Journal of Alternative Agriculture 7 no 1-2. 63-68.
- Håkansson, A. & Nilsson, N. 1963. Jordförstöring genom vatten och vind. Jord-Gröda-Djur årgång 19. Stockholm: LT:s förlag.
- Håkansson, I & Johansson, W. 1992. Framtida miljöövervakning av jordbruksmark. Naturvårdsverket, Stockholm. Rapport 4109. 21-42.
- Håkansson, I. 2000. Packning av åkermark vid maskindrift. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst f markvetenskap. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen nr 99.
- Ingham, E.R. 1998. Protozoa and Nematodes. Ur Sylvia, D.M. Fuhrman, J.J., Hartel, P.G. & Zuberer, D.A. (eds). Principles and Applications of Soil Microbiology. 114-131.
- Janssen, B.H. 1984. A simple method for calculating decomposition and accumulation of "young" soil organic matter. Plant & Soil 76, 297-304.
- Jansson, S.L. 1972. Odlingsmarkens bördighet. Stiftelsen Svensk Växtnäringsforskning. Lantbrukshögskolan. Uppsala.
- Johansson, W. 1974. Sammanställning av väderdata från SMHI under perioden 1931 till 1960. (Stencil)
- Johansson, W. 1994a. Kolbindning och kolflöden vid odling. Sammanfattning av en analys rörande inverkan av växtföljd/odlingssystem och av restprodukttillförsel till marken. Rapport till stiftelsen Lantbruksforskning. Sveriges Lantbruksuniversitet Uppsala. Inst f markvetenskap. Avd f lantbrukets hydroteknik.
- Johansson, W. 1994b. Markstruktur, porsystem och växttillgängligt vatten i odlade jordar. Kungliga skogs och lantbruksakademins tidskrift, nr 5. Stockholm. 25-38.
- Johansson, W., Mattsson, L., Thyselius, L. & Wallgren, B. 1993. Energigrödor för biogas. Effekter på odlingssystem. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. JTI-rapport nr. 161.
- Jordartsnomenklatur. 1953. Regler utarbetade av representanter för Kungl. skogshögskolan (Tamm, O.), Statens geotekniska institut (Kjellman, W. & Jakobson, B.), Statens

- väginstitut (von Matern, N., Rengmark, F. & Odemark, N.) och Sveriges geologiska undersökning (Ekström, G., Fromm, E. & Järnefors, B.). (stencil).
- Karlen, D.L., Eash, N.S. & Unger, P.W. 1992. Soil and crop management effects on soil quality indicators. *American Journal of Alternative Agriculture* 7 no 1-2. 48-54.
- Karlen, D.L. & Scott, D.E. 1994. A Framework for Evaluating Physical and Chemical Indicators of Soil Quality. SSSA (Soil Science Society of America) Special Publication no. 35. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Madison: SSSA: ASA (American Society of Agronomy). 53-72.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., & Schuman, G.E. 1997. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61. 4-10.
- Kennedy, A.C. & Papendick, R.I. 1995. Microbial characteristics of soil quality. *Journal of Soil and Water Conservation* 50 no 3. 243-248.
- Klepper, B. 1987. Origin, Branching and distribution of root systems. Gregory, P.J., Lake, J.V. & Rose, D.A (eds). *Root Development and Function*. Society for Experimental Biology. Seminar Series 30. Cambridge University Press.
- Kutschera, L. 1960. *Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen*. Frankfurt am Main: DLG-Verlags-GmbH.
- Kungliga Lantbruksstyrelsen, 1965. *Kungsgörelser m.m. Nr 1*. Solna. Stencil.
- Linner, H. 1987. Vattenfaktorns inflytande på stråsädens tillväxt och kväveupptagning. Stencil kurs i Jordbearbetning och Hydroteknik år 1999. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala.
- Linnér, H. & Johansson, W. 1977. *Bevattning. Behov-Effekter-Teknik*. Borås: LT:s förlag.
- Ljung, G. 1987. Mekanisk analys. Beskrivning av en rationell metod för jordartsbestämning. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Avdelningsmeddelande 87:2. 13.
- Mattsson, J.O. 1984. Erosionsproblem i Sverige I, Vinderosion. *Kungliga skogs- och lantbruksakademin, tidskrifter nr 5-6*. Stockholm. 371-381.
- Mattson, R. 1988. Plöjningsfri odling och direktsådd. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Aktuellt från Lantbruksuniversitetet, nr 371. Mark/växter.
- Mattsson, L. 1991. Nettomineralisering och rotproduktion vid odling av några vanliga lantbruksgrödor. Rapport 182. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst f markvetenskap. Avd f växtnäringslära.
- Mattsson, L. 1993. Mer vall för mullens skull. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Fakta Mark/Växter nr 8.
- McGuinness, S. 1991. Soil structure assessment kit. NSCP (National Soil Conservation Program), Centre for land protection. Australien, Bendigo.
- Messing, I. 1985. Institutionen för Markvetenskap. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala. (stencil)
- Olsson, S. 1998. Växters rötter. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Fakta Trädgård/Fritid, nr 68.
- Papendick, R.I. & Parr, J.F. 1992. Soil quality – The key to a sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture* 7 no 1-2. 2-3.
- Parr, J.F., Papendick, R.I., Hornick, S.B. & Meyer, R.E. 1992. Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture* 7 no 1-2. 5-11.
- Persson, J. & Otabbong, E. 1994. Åkermarkens Bördighet. Ur Persson, J., Otabbong, E., Olsson, M., Johansson, M. & Lundin, L. Vad är bördighet och hur påverkas den?. Naturvårdsverkets rapport nr 4337. Stockholm.

- Pettersson, G. 1959. Erosionsproblem i vårt land. Jord-Gröda-Djur årgång 15. LT:s förlag. Stockholm. 17-25.
- Reid, J.B. & Goss, M.J. 1981. Effect of Living Roots of Different Plant Species on the Aggregate Stability of Two Arable Soils. *Journal of Soil Science* 32. 521-541.
- Rydberg, T. 1987. Studier i plöjningsfri odling i Sverige 1975-86. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. fjordbearbetning. Rapport nr 76.
- Saavalainen, J. 1987. Täckdikarens handbok, del II A. Täckdikningens planering. Saljut oy. Helsingfors.
- Sauerbeck, D.R. 1982. Influence of crop rotation, manorial treatment and soil tillage on the organic matter content of German soils. I Boels, D. Davies, D.B. & Johnston, A.E. (Red). *Soil Degradation, Proceedings of the EEC Seminar held in Wageningen, Netherlands*. Rotterdam: AA Balkema. 163-179.
- Soil Survey Staff, 1975. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. USDA Handbook no. 436, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C.
- Steen, E. 1992. Den Svenska Åkermarkens bördighet. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Aktuellt från Lantbruksuniversitetet, Mark Växter nr 403.
- Stork, N.E. & Eggleton, P. 1992. Invertebrates as determinants of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 7 no 1-2. 38-47.
- Sundborg, Å. 1984. Erosionsproblem i Sverige II, Vattenerosion. Kungliga skogs och lantbruksakademin, tidskrifter nr 5-6. Stockholm. 382-395.
- Svensson, H. I. 1984. Bestämning av hygroskopicitet och glödningsförlust i jord, samt approximativ beräkning av lerhalt, mullhalt och katjonbyteskapacitet. SLL Rapport nr 36. Uppsala
- Thomasson, A.J. 1975. *Soils and field drainage. Soil Survey Technical Monograph No.7*.
- Torstensson, L., Pell, M. & Stenberg, B. 1998. Need of a Strategy for Evaluation of arable Soil Quality. *Ambio* Vol 27, nr. 1. 4-8.
- Visser, S. & Parkinson, D. 1992. Soil biological criteria as indicators of soil quality: Soil microorganisms. *American Journal of Alternative Agriculture* 7, no. 1-2, 33-37.
- Warkentin, B.P. 1995. The changing concept of soil quality. *Journal of Soil and Water Conservation* Vol 50, no 3, 226-228.
- Wiklander, L. 1976. Marklära. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen för Markvetenskap.
- Wiklert, P. 1961. Om sambandet mellan markstruktur, rotutveckling och upptorkningsförlopp. *Grundförbättring* 14. 221-239.
- Weidow, B. 1998. Växtodlingens grunder. Stockholm: LT:s förlag.
- Wollum, A.G. 1998. Introduction and historical perspective. Ur Sylvia, D.M. Fuhrman, J.J., Hartel, P.G. & Zuberer, D.A. (eds). *Principles and Applications of Soil Microbiology*. 3-20.

Personliga meddelanden

- Agr. Dr. J. Arvidsson. 2001. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst f markvetenskap, Avd fjordbearbetning.
- Agr. Dr. K. Berglund. 2001. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst f markvetenskap, Avd f hydroteknik.
- Prof. emeritus I. Håkansson. 2001. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst f markvetenskap, Avd fjordbearbetning.
- Projektledare L. Törner. 2001. Projektledare Odling i Balans.

Internet

- Alberta Agriculture Website, An introduction to water erosion control. 10 September 2001.
<http://www.agric.gov.ab.ca/agdex/500/72000003.htm>
- Alberta Agriculture Website, An introduction to wind erosion control. 10 September 2001.
<http://www.agric.gov.ab.ca/agdex/500/72000002.htm>
- Markinfo. Humiditet under vegetationsperioden. 15 September 2001 <http://www-markinfo.slu.se/sve/klimat/hum.html>
- Odling i balans. Pilotgård Broby. 12 oktober 2001.
<http://www.odlingibalans.com/broby/index.htm>.
- Odling i balans. Pilotgård Hacksta. 12 oktober 2001.
<http://www.odlingibalans.com/hacksta/index.htm>.
- Odling i balans. Pilotgård Wiggeby. 12 oktober 2001.
<http://www.odlingibalans.com/wiggeby/index.htm>.
- Odling i balans. Pilotgård Västraby. 12 oktober 2001.
<http://www.odlingibalans.com/vastraby/index.htm>.

Illustrationer

- Landskapsarkitekt K. Höök. 2001. Framsida.
- Ingenjör H. Johansson. 2001. SLU. Figur 31, Markstrukturtest i fält.

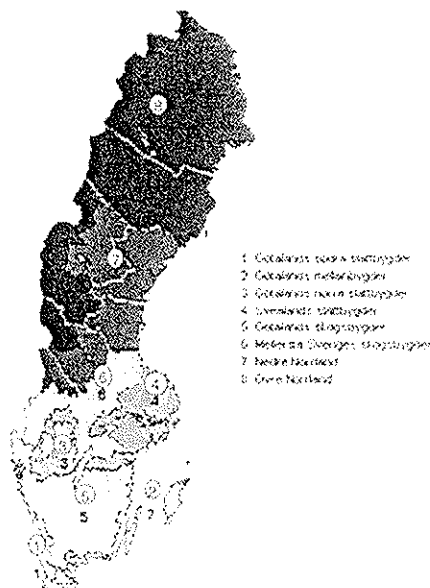
Bilaga 1:1. Datablad: Gård och maskinpark. Exempel Wiggeby

Indata för gården

Grundläggande uppgifter om gården och maskinparken

Gårdsnamn	Wiggeby
Brukare	Håkan Eriksson
Odlingsområde (välj från kartan)	Svealands slättbygder
Startår	1998
Telefon	

Maskinpark

[illegible]

Källa: SCB

(<http://www.scb.se/sm/jo15sm0001%5Fkartor.asp#BM2>)

Redskap och övriga maskiner	Arbetsbredd på redskap	Vikt (Kg)	Ringtryck (k P)				Lastvikt Kg
			Fram	Bak	Bak2	Bak3	
Stubbredskap	5	2500					
Spruta	20	2500	2				2400
Harv	9	2800					
Sladd	6,2	1500					
såmaskin	4	3000	0,8				2400
gödsetspridare	20	2000	2				3000
Tröska	6	9400	1,2	1,2			4000
Halmvändare	6	500					
halmpress	6	6500	0,8				400
Hemtransport	100	5500	0,6				13000
Flytgödsetunna	10	5000	1	1			15000
plog	1,9	1800					
Vält	10	4500					

Bilaga 1:3. Datablad: Odlingssystem år 1. Exempel Wiggeby

År	1998	Årsmöteklässning			
		Vår	Sommar	Höst	
		Kaliväl	Kaliväl	Varmför	

KRITISK BELASTNING MARKPACKNING ALVEN

124

Bilaga 1:6. Datablad: Överfarter och markbelastningar. Exempel Wiggeby

Skifte	År	Traktor	Bearb	Packning	Körningar	ax1 bel	ax2 bel	ax1.kritisk nivå	ax2.kritisk nivå	traktor-överbelastning
Stallgödsel	2 001	same 190	Pressning halm	0	1	5 520	0	8 100	10 500	-2 500
Stallgödsel	2 001	JD 6810	Vändning halm	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 000
Stallgödsel	2 001	Traktor	Hemtransport	1	1	14 800	0	8 700	10 500	-2 000
Stallgödsel	2 001	Troska	Troskning	3	1	9 380	4 020	6 900	6 900	#N/A
Stallgödsel	2 001	JD 6810 spruta	Stenspridning	0	3	4 000	0	6 000	10 500	-1 200
Stallgödsel	2 001	JD 6810 spruta	Sprutning ogräs	0	2	3 920	0	6 000	10 500	-1 300
Stallgödsel	2 001	same 190	Sädd	0	1	4 320	0	8 100	10 500	-2 800
Stallgödsel	2 001	Case 4690	Harvning	0	3	0	0	10 500	10 500	-700
Stallgödsel	2 001	same 190	Plojning	14	1	0	0	10 500	10 500	1 650
Stallgödsel	2 001	Case 4690	Stubbearbetning	6	1	8 160	10 200	7 500	7 500	1 830
				24	15					
Stallgödsel	2 000	same 190	Pressning halm	0	1	5 520	0	8 100	10 500	-2 500
Stallgödsel	2 000	JD 6810	Vändning halm	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 000
Stallgödsel	2 000	Traktor	Hemtransport	1	1	14 800	0	8 700	10 500	-2 000
Stallgödsel	2 000	Troska	Troskning	3	1	9 380	4 020	6 900	6 900	#N/A
Stallgödsel	2 000	JD 6810 spruta	Stenspridning	0	3	4 000	0	6 000	10 500	-1 200
Stallgödsel	2 000	JD 6810 spruta	Sprutning ogräs	0	2	3 920	0	6 000	10 500	-1 300
Stallgödsel	2 000	same 190	Sädd	0	1	4 320	0	8 100	10 500	-2 800
Stallgödsel	2 000	Case 4690	Harvning	0	3	0	0	10 500	10 500	-700
				4	13					
Stallgödsel	1 999	same 190	Pressning halm	0	1	5 520	0	8 100	10 500	-2 500
Stallgödsel	1 999	Traktor	Vändning halm	0	1	0	0	10 500	10 500	-5 700
Stallgödsel	1 999	Traktor	Hemtransport	1	1	14 800	0	8 700	10 500	0
Stallgödsel	1 999	Troska	Troskning	3	1	9 380	4 020	6 900	6 900	#N/A
Stallgödsel	1 999	Traktor	Stenspridning	0	1	5 000	0	6 000	10 500	-3 800
Stallgödsel	1 999	JD 6810 spruta	Sprutning ogräs	0	2	4 900	0	6 000	10 500	-1 177
Stallgödsel	1 999	JD 6810	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 157
Stallgödsel	1 999	same 190	Sädd	0	1	4 320	0	8 100	10 500	-3 000
Stallgödsel	1 999	Case 4690	Harvning	0	3	0	0	10 500	10 500	-900
Stallgödsel	1 999	same 190	Plojning	14	1	0	0	10 500	10 500	1 650
Stallgödsel	1 999	Case 4690	Stubbearbetning	6	1	8 160	10 200	7 500	7 500	1 830
				24	14					
Stallgödsel	1 998	same 190	Pressning halm	0	1	5 520	0	8 100	10 500	0
Stallgödsel	1 998	JD 6810	Vändning halm	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 940
Stallgödsel	1 998	Traktor	Hemtransport	1	1	14 800	0	8 700	10 500	0
Stallgödsel	1 998	Troska	Troskning	3	1	9 380	4 020	6 900	6 900	#N/A
Stallgödsel	1 998	JD 6810 spruta	Sprutning ogräs	0	2	3 920	0	6 000	10 500	-1 177
Stallgödsel	1 998	JD 6810	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 157
Stallgödsel	1 998	same 190	Sädd	0	1	4 320	0	8 100	10 500	0
Stallgödsel	1 998	Case 4690	Sladd	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Stallgödsel	1 998	Case 4690	Harvning	0	2	0	0	10 500	10 500	0
Stallgödsel	1 998	same 190	Plojning	14	1	0	0	10 500	10 500	1 650
Stallgödsel	1 998	Case 4690	Stubbearbetning	6	1	8 160	10 200	7 500	7 500	1 830
				24	13					
Ej Stallgödsel	2 001	same 190	Pressning halm	0	1	5 520	0	8 100	10 500	-2 500
Ej Stallgödsel	2 001	JD 6810	Vändning halm	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 000
Ej Stallgödsel	2 001	Traktor	Hemtransport	1	1	14 800	0	8 700	10 500	-2 000
Ej Stallgödsel	2 001	Troska	Troskning	3	1	9 380	4 020	6 900	6 900	#N/A
Ej Stallgödsel	2 001	JD 6810 spruta	Stenspridning	0	3	4 000	0	6 000	10 500	-1 200
Ej Stallgödsel	2 001	JD 6810 spruta	Sprutning ogräs	0	2	3 920	0	6 000	10 500	-1 300
Ej Stallgödsel	2 001	same 190	Sädd	0	1	4 320	0	8 100	10 500	-2 800
Ej Stallgödsel	2 001	Case 4690	Harvning	0	3	0	0	10 500	10 500	-700
Ej Stallgödsel	2 001	same 190	Plojning	14	1	0	0	10 500	10 500	1 650
				18	14					
Ej Stallgödsel	2 000	same 190	Pressning halm	0	1	5 520	0	8 100	10 500	-2 500
Ej Stallgödsel	2 000	JD 6810	Vändning halm	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 000
Ej Stallgödsel	2 000	Traktor	Hemtransport	1	1	14 800	0	8 700	10 500	-2 000
Ej Stallgödsel	2 000	Troska	Troskning	3	1	9 380	4 020	6 900	6 900	#N/A
Ej Stallgödsel	2 000	JD 6810 spruta	Stenspridning	0	1	4 000	0	6 000	10 500	-1 200
Ej Stallgödsel	2 000	JD 6810 spruta	Sprutning ogräs	0	3	3 920	0	6 000	10 500	-1 300
Ej Stallgödsel	2 000	same 190	Sädd	0	1	4 320	0	8 100	10 500	-2 800
Ej Stallgödsel	2 000	Case 4690	Harvning	0	2	0	0	10 500	10 500	-700
Ej Stallgödsel	2 000	same 190	Stubbearbetning	0	3	0	0	10 500	10 500	0
				4	14					
Ej Stallgödsel	1 999	same 190	Pressning halm	0	1	5 520	0	8 100	10 500	-2 500
Ej Stallgödsel	1 999	Traktor	Vändning halm	0	1	0	0	10 500	10 500	-5 700
Ej Stallgödsel	1 999	Traktor	Hemtransport	1	1	14 800	0	8 700	10 500	0
Ej Stallgödsel	1 999	Troska	Troskning	3	1	9 380	4 020	6 900	6 900	#N/A
Ej Stallgödsel	1 999	Traktor	Stenspridning	0	1	5 000	0	6 000	10 500	-3 800
Ej Stallgödsel	1 999	JD 6810 spruta	Sprutning ogräs	0	2	4 900	0	6 000	10 500	-1 177

Bilaga 1:7. Datablad: Resultat av odlingssystemindex. Exempel Wiggeby

[illegible]

2004

Sammanfattning av indexen

[illegible]

Bilaga 1:9. Datablad: Översikt över odlingssystem. Exempel Wiggeby

Wiggeby		Årsmånsklassning		Tillförd organiskt material		Datum med årsangivelse		Bortförd ha Barmarksdagar		Organisk substans		Packning					
Ar	Skifte	Gröda	Typ	Mängd	H-te-halt	Sädd	Uppkomst	Skörd	Avkastning (kg/ha)	vår	höst	totalt	Röfiter	torkdagar	ton*km/ha	antal kömir	
1998	Stallgödsel	Höstvele	flyt svin	45000	0,09		22-sep-1997	27-aug-1998	6600 Ja		43	43	6855	6564	25	24	13
	Ej stallgödsel	Våraps					14-maj-1998	22-sep-1998	2900 Ja	43		120	1966	4618		18	14
1999	Stallgödsel	Oljelin	Svin flyt	30000	0,09		14-maj-1999	6-sep-1999	1300 Ja	43		140	183	4033,735	69	24	14
	Ej stallgödsel	Höstvele					22-sep-1998	27-aug-1999	5800 Ja		5	5	2465	5768,1	90	18	15
2000	Stallgödsel	Höstvele					22-sep-1999	27-aug-2000	7200 Ja		21	21	3060	7160	25	4	13
	Ej stallgödsel	Oljelin					14-maj-2000	6-sep-2000	1860 Ja	124		140	1908	2767		4	14
2001	Stallgödsel	Höstvele	Svin flyt	45000	0,09		22-sep-2000	27-aug-2001	7000 Ja		31	31	7025	6962	84	24	15
	Ej stallgödsel	Höstvele					22-sep-2000	27-aug-2001	6000 Ja		21	21	2550	5967	90	18	14

Bilaga 2:1. Sammanställning av gårdarnas odlingssystemresultat. Indata

		Org mtrl (kg ts/ha)	Rötter (kg ts/ha)	Tork- dagar	Barnmarks- dagar	Packning (tonkm/ha)	Överfarter (antal)
Wiggeby, stallgödsel	1998 Höstvete	6855	6564	25	43	24	13
	1999 Ojjelein	4034	1934	69	183	24	14
	2000 Höstvete	3060	7160	25	21	4	13
	2001 Höstvete	7025	6962	84	31	24	14
Wiggeby, ej stallgödsel	1998 Våraps	1966	4618	0	163	18	14
	1999 Höstvete	2465	5768	90	5	18	15
	2000 Ojjelein	1908	2767	0	264	4	13
	2001 Höstvete	2550	5867	90	21	18	14
Hacksta, frövall	1999 Frövall	1879	9394	59	0	1	5
	1999 Frövall	2088	10438	133	0	1	7
	2000 Vall	1879	9394	59	0	1	5
	2001 Höstvete	7956	7956	90	27	18	12
Hacksta, ej frövall	1998 Höstvete	5838	5838	45	43	1	11
	1999 Havre	4674	4674	81	176	17	9
	2000 Årter	2489	2489	0	256	18	10
	2001 Höstvete	7956	7956	90	25	1	11
Åbylund, tunna	1998 Höstkorn	5190	5967	61	32	32	10
	1999 Höstraps	7418	4778	77	34	32	10
	2000 Höstvete	6112	8125	43	49	18	7
	2001 Höstvete	5615	6962	91	28	32	8
Broby, släpplang	1998 Träda	835	4175	127	0	0	1
	1999 Höstraps	5588	3908	72	27	33	9
	2000 Höstvete	8940	7260	25	49	20	9
	2001 Höstvete	9636	7956	84	35	20	9
Västraby 3-radig	1998 Kons.ärter	1224	1224	0	162	31	12
	1999 Höstvete	7807	7807	87	74	30	9
	2000 Sockerbetor	7860	288	98	282	32	10
	2001 Vårvete	6464	6464	85	109	30	9
Västraby 6-radig	1998 Kons.ärter	1224	1224	0	162	31	12
	1999 Höstvete	7807	7807	87	74	30	9
	2000 Sockerbetor	7860	288	98	282	70	10
	2001 Vårvete	6464	6464	85	109	30	9
Kullsegård, lätt	1998 Vårkorn	2947	2774	32	146	6	10
	1999 Våraps	3695	1895	79	186	6	11
	2000 Höstvete	4734	2934	88	49	6	12
	2001 Höstvete	6872	5072	100	36	6	13
Kullsegård, styv	1998 Vårkorn	3196	3264	0	146	6	10
	1999 Våraps	4030	2230	53	186	6	11
	2000 Höstvete	5281	3481	78	49	6	12
	2001 Höstvete	7767	5967	84	36	6	13
Par 2 Plusgård	1997 Vårvete	7459	7459	74	196	10	9
	1998 Vårkorn	6120	6120	11	137	10	8
	1999 Höstvete	7956	7956	87	49	10	12
	2000 Sockerbetor	11016	518	98	266	21	15
	2001 Vårvete	2975	6962	85	79	10	12
Par 2 Medelgård	1997 Vårkorn	4488	4488	70	216	20	8
	1998 Årter	1428	1428	11	193	45	11
	1999 Höstvete	8951	8951	87	84	5	10
	2000 Sockerbetor	9180	432	98	268	32	11
	2001 Vårvete	7956	7956	85	119	17	7
Par 3 Plusgård	1995 Vall	1983	9916	135	0	0	7
	1996 Vall	1670	8350	135	0	0	7
	1997 Sockerbetor	12240	576	98	146	12	11
	1998 Vårkorn	2792	6528	11	46	12	10
	1999 Höstvete	10075	8951	87	55	12	16
	2000 Sockerbetor	14280	672	98	260	12	12
Par 3 Medelgård	1995 Höstråg	8453	8453	80	57	26	7
	1996 Sockerbetor	10608	499	98	146	36	12
	1997 Årter	1714	1714	70	163	44	7

Bilaga 2:2. Sammanställning av gårdarnas odlingssystemresultat. Index

		Faktor	0,50	0,67	24,33	-13,0	-0,22	-0,33			
		Max	10,0	10,0	10,0	-10,0	-13,3	-6,7			
		Org mtrl	Rötter	Torkdagar	Barmark	Packning	Överfarter	Summa gröda	Summa Växtföljd	Medel Växtföljd	
Wiggeby, stallgödsel	1998 Höstvete	3,4	4,4	1,7	-1,5	-5,3	-4,3	-1,7			
	1999 Oljelin	2,0	1,3	4,6	-6,5	-5,3	-4,7	-8,6			
	2000 Höstvete	1,5	4,8	1,7	-0,8	-0,9	-4,3	2,0			
	2001 Höstvete	3,5	4,6	5,6	-1,1	-5,3	-4,7	2,6	-4,0	-1,0	
Wiggeby, ej stallgödsel	1998 Vårrips	1,0	3,1	0,0	-5,8	-4,0	-4,7	-10,4			
	1999 Höstvete	1,2	3,8	6,0	-0,2	-4,0	-5,0	1,9			
	2000 Oljelin	1,0	1,8	0,0	-9,4	-0,9	-4,3	-11,9			
	2001 Höstvete	1,3	4,0	6,0	-0,8	-4,0	-4,7	1,8	-18,5	-4,6	
Hacksta, frövall	1999 Frövall	0,9	6,3	3,9	0,0	-0,2	-1,7	9,2			
	1999 Frövall	1,0	7,0	8,9	0,0	-0,2	-2,3	14,3			
	2000 Vall	0,9	6,3	3,9	0,0	-0,2	-1,7	9,2			
	2001 Höstvete	4,0	5,3	6,0	-1,0	-4,0	-4,0	6,3	39,1	9,8	
Hacksta, ej frövall	1998 Höstvete	2,9	3,9	3,0	-1,5	-0,2	-3,7	4,4			
	1999 Havre	2,3	3,1	5,4	-6,3	-3,8	-3,0	-2,2			
	2000 Årter	1,2	1,7	0,0	-9,1	-4,0	-3,3	-13,6			
	2001 Höstvete	4,0	5,3	6,0	-0,9	-0,2	-3,7	10,5	-0,9	-0,2	
Åbylund, tunna	1998 Höstkorn	2,6	4,0	4,1	-1,1	-7,1	-3,3	-0,9			
	1999 Höstraps	3,7	3,2	5,1	-1,2	-7,1	-3,3	0,4			
	2000 Höstvete	3,1	5,4	2,9	-1,8	-4,0	-2,3	3,3			
	2001 Höstvete	2,8	4,6	6,1	-1,0	-7,1	-2,7	2,7	5,4	1,4	
Broby, släpslang	1998 Träda	0,4	2,8	8,5	0,0	0,0	-0,3	11,3			
	1999 Höstraps	2,8	2,6	4,8	-1,0	-7,3	-3,0	-1,1			
	2000 Höstvete	4,5	4,8	1,7	-1,8	-4,4	-3,0	1,8			
	2001 Höstvete	4,8	5,3	5,6	-1,3	-4,4	-3,0	7,0	19,0	4,8	
Västraby 3-radig	1998 Kons.ärter	0,6	0,8	0,0	-5,8	-6,9	-4,0	-15,2			
	1999 Höstvete	3,9	5,2	5,8	-2,6	-6,7	-3,0	2,6			
	2000 Sockerbetor	3,9	0,2	6,5	-10,1	-7,1	-3,3	-9,9			
	2001 Vårvete	3,2	4,3	5,7	-3,9	-6,7	-3,0	-0,4	-22,9	-5,7	
Västraby 6-radig	1998 Kons.ärter	0,6	0,8	0,0	-5,8	-6,9	-4,0	-15,2			
	1999 Höstvete	3,9	5,2	5,8	-2,6	-6,7	-3,0	2,6			
	2000 Sockerbetor	3,9	0,2	6,5	-10,1	-15,6	-3,3	-18,3			
	2001 Vårvete	3,2	4,3	5,7	-3,9	-6,7	-3,0	-0,4	-31,3	-7,8	
Kullsegård, lätt	1998 Vårkorn	1,5	1,8	2,1	-5,2	-1,3	-3,3	-4,4			
	1999 Vårrips	1,8	1,3	5,3	-6,6	-1,3	-3,7	-3,3			
	2000 Höstvete	2,4	2,0	5,9	-1,8	-1,3	-4,0	3,1			
	2001 Höstvete	3,4	3,4	6,7	-1,3	-1,3	-4,3	6,5	1,9	0,5	
Kullsegård, styv	1998 Vårkorn	1,6	2,2	0,0	-5,2	-1,3	-3,3	-6,1			
	1999 Vårrips	2,0	1,5	3,5	-6,6	-1,3	-3,7	-4,6			
	2000 Höstvete	2,6	2,3	5,2	-1,8	-1,3	-4,0	3,1			
	2001 Höstvete	3,9	4,0	5,6	-1,3	-1,3	-4,3	6,5	-1,1	-0,3	
Par 2 plusgård	1997 Vårvete	3,7	5,0	4,9	-7,0	-2,2	-3,0	1,4			
	1998 Vårkorn	3,1	4,1	0,7	-4,9	-2,2	-2,7	-1,9			
	1999 Höstvete	4,0	5,3	5,8	-1,8	-2,2	-4,0	7,1			
	2000 Sockerbetor	5,5	0,3	6,5	-9,5	-4,7	-5,0	-6,8			
	2001 Vårvete	1,5	4,6	5,7	-2,8	-2,2	-4,0	2,8	2,6	0,5	
Par 2 Medelgård	1997 Vårkorn	2,2	3,0	4,7	-7,7	-4,4	-2,7	-4,9			
	1998 Årter	0,7	1,0	0,7	-6,9	-10,0	-3,7	-18,2			
	1999 Höstvete	4,5	6,0	5,8	-3,0	-1,1	-3,3	8,8			
	2000 Sockerbetor	4,6	0,3	6,5	-9,6	-7,1	-3,7	-8,9			
	2001 Vårvete	4,0	5,3	5,7	-4,3	-3,8	-2,3	4,6	-18,6	-3,7	
Par 3 plusgård	1995 Vall	1,0	6,6	9,0	0,0	0,0	-2,3	14,3			
	1996 Vall	0,8	5,6	9,0	0,0	0,0	-2,3	13,1			
	1997 Sockerbetor	6,1	0,4	6,5	-5,2	-2,7	-3,7	1,5			
	1998 Vårkorn	1,4	4,4	0,7	-1,6	-2,7	-3,3	-1,2			
	1999 Höstvete	5,0	6,0	5,8	-2,0	-2,7	-5,3	6,8			
	2000 Sockerbetor	7,1	0,4	6,5	-9,3	-2,7	-4,0	-1,8	32,7	5,4	

Bilaga 3:1. Protokoll för markstrukturtest i fält. Profilbeskrivning

Protokoll för profilbeskrivning

Allmän information:

Grupp	
Datum	
Gård	
Provgropens läge på fältet	

Profilbeskrivning:

Matjordsdjup (cm)	
Plogsulans tjocklek (cm)	
Plogsulans kraftighet (svag, medel, kraftig)	

Djup (cm)	Jordart + mull	Mark- struktur	Allmän beskrivning av profilen
Matjord			
Plogsula			
Alv			

Bilaga 3:2. Protokoll för markstrukturtest i fält. Markstruktur och förtätade zoner

Markstruktur och förtätade zoner (Beskrivning enligt tabellerna 4-6) vid

Datum:

Utförare:

Djup (cm)	Allmänt Enkelkornstruktur/aggregat/ massiv/kokig "bryt aggregat"	Aggregatens storlek	Aggregatens form	Aggregatens stabilitet
Matjord				
Plogsula				
Alv				

Bilaga 3:3. Protokoll för markstrukturtest i fält. Rotutveckling, porer och maskförekomst

Rotutveckling, porer och maskförekomst (Beskrivning enligt tabellerna 7-9)

vid

Datum:

Utförare:

Djup (cm)	Rotsystemet	Porer, antal och storlek		Maskförekomst
		< 1 mm	> 1 mm	
Matjord				
Plogsula				
Alv				

Bilaga 3:4. Protokoll för markstrukturtest i fält. Markens infiltrerbarhet

Markens infiltrerbarhet (resultat från fälttest) vid

Datum:

Utförare:

	Tid kl. (s eller min)	Vatten- ytans läge (cm)	Tid kl. (s eller min)	Vatten- ytans läge (cm)	Tid kl. (s eller min)	Vatten- ytans läge (cm)	Infiltration cm/min
Markyta I	0						
						medel I	
Markyta II	0						
						medel II	
						medel I+II	
Centrala matjorden							
Yta I	0						
Djup (cm)							
						medel I	
yta II	0						
						medel II	
						medel I+II	
Plogsula							
Yta I	0						
Djup (cm)							
						medel I	
yta II	0						
						medel II	
						medel I+II	
Alv							
Yta I							
Djup (cm)							
						medel I	
yta II							
						medel II	
						medel I+II	

Bilaga 4. Axelbelastningar för traktorer

Traktortyp	Totalvikt (kg)	Vikt fram (kg)	Vikt bak (kg)	Belastning	
				%fram	%bak
CiH	10800	6480	4320	60	40
CiH 4210	3380	1330	2050	39	61
CiH 5150	5180	2070	3110	40	60
CiH 7140	8055	2820	5235	35	65
CiH 7240	8900	3560	5340	40	60
CiH MX 100	5700	2500	3200	44	56
CiH MX 170	6750	2900	3850	43	57
CiH XI 844	4200	1680	2520	40	60
Ford 5110	4530	2050	2480	45	55
Ford 8210	5680	2490	3190	44	56
JD 4455	7150	2740	4410	38	62
JD 6800	5410	1975	3435	37	63
JD 7710	6980	2515	4465	36	64
MB trac	6380	3510	2870	55	45
MF 3115	5360	2490	2890	46	54
MF 3680	6650	3125	3525	46	54
MF 4245	3759	1553	2226	41	59
MF 8130	6400	2850	3550	45	55
NH 8260	5250	2100	3150	40	60
NH 8340	5250	2100	3150	40	60
Valmet 805	4010	1780	2230	44	56
Valmet 8400	4870	2130	2740	44	56
Valmet 8550	5200	2288	2912	44	56
Valmet 905	4250	1890	2360	44	56
Volvo BM 2650	6300	2110	4190	33	67

Bilaga 5:1. Resultat av mekanisk analys. Wiggeby och Hacksta

Mekanisk analys (fraktionerna angivna i %):

Fmj = finmjäla Ms = Mellan sand Mull = Korr. för glöd. förlust
Gmj = Grovmjäla Gs = Grovsand V.gr = Vissningsgräns beräknad från
Fmo = Finmo Gl.f = Glöd. förlust kornsstorleksdata
Gmo = Grovmo Fel% = Bör ej överstiga 5%

Provplats: Wiggeby 2001

Utskriftsdatum: 2001-8-28

Provanm.	Ler	Fmj	Gmj	Fmo	Gmo	Ms	Gs	Gl.f	Fel%	Mull	V.gr
gödslat vändteg mj	48.3	10.5	10.9	11.7	7.6	2.7	3.0	5.2	0.5	1.9	17.2
Kumulativ procent	48.3	58.8	69.7	81.4	89.0	91.7	94.8	100.0			
gödslat vändteg alv	61.1	14.5	10.7	6.9	1.2	0.4	0.2	5.1	3.7	1.1	21.4
Kumulativ procent	61.1	75.5	86.2	93.1	94.3	94.6	94.9	100.			
gödslat fält mj	35.8	10.8	12.9	12.9	13.9	5.5	3.7	4.5	-2.5	1.8	13.5
Kumulativ procent	35.8	46.6	59.5	72.4	86.3	91.8	95.5	100.			
gödslat fält alv	50.6	8.6	9.6	11.2	10.0	3.4	2.4	4.1	2.3	0.6	17.8
Kumulativ procent	50.6	59.3	68.9	80.1	90.1	93.5	95.9	100.			
ogödslat vändteg m	48.0	8.4	10.7	9.8	13.0	3.3	1.6	5.2	0.2	1.9	17.0
Kumulativ procent	48.0	56.4	67.1	76.9	89.9	93.2	94.8	100.0			
ogödslat vändteg al	65.7	11.9	9.8	6.9	1.3	0.4	0.0	4.0	1.0	0.0	22.6
Kumulativ procent	65.7	77.5	87.4	94.2	95.6	96.0	96.0	100.			
ogödslat fält mj	46.3	10.6	9.7	9.5	14.2	3.4	1.3	5.0	-0.2	1.8	16.6
Kumulativ procent	46.3	56.9	66.6	76.1	90.3	93.7	95.0	100.0			
ogödslat fält alv	58.0	16.4	11.9	6.8	1.7	0.3	0.0	4.8	2.0	1.	20.6
Kumulativ procent	58.0	74.4	86.3	93.1	94.8	95.1	95.2	100.0			

Provplats: Hacksta 2001

Utskriftsdatum: 2001-8-28

Provanm.	Ler	Fmj	Gmj	Fmo	Gmo	Ms	Gs	Gl.f	Fel%	Mull	V.gr
vändteg frövall mj	48,8	14,6	13	10	4,1	0,6	0,3	8,2	1,1	4,9	17,6
Kumulativ procent	48,8	63,4	77	87	91	91,5	91,8	100			
vändteg frövall alv	46,7	11,6	17	15	3,6	0,7	0,1	4,9	1,6	1,7	16,8
Kumulativ procent	46,7	58,3	75	91	94	94,9	95,1	100			
fält frövall mj	53,9	16,5	14	6,7	1,9	0,5	0,1	6,9	1,1	3,3	19,3
Kumulativ procent	53,9	70,3	84	91	92	93	93,1	100			
fält frövall alv	50,7	11,8	11	15	7,2	0,5	0,1	3,8	0,7	0,4	18,1
Kumulativ procent	50,7	62,5	74	88	96	96,1	96,2	100			
ej frövall vändteg n	43	12,4	14	15	7,8	0,4	0	7,4	0	4,3	15,7
Kumulativ procent	43	55,4	69	85	92	92,6	92,6	100			
ej frövall vändteg al	59	15,2	14	5,8	2,1	0,3	0,1	3,8	-0,7	0	20,8
Kumulativ procent	59	74,1	88	94	96	96,1	96,2	100			
ej frövall fält mj	44,7	11	17	14	5,5	0,5	0,2	7,8	1,3	4,6	16,1
Kumulativ procent	44,7	55,7	72	86	92	92	92,2	100			
ej frövall fält alv	55,6	9,7	11	13	6,2	0,7	0,1	4	1,2	0,3	19,4
Kumulativ procent	55,6	65,3	76	89	95	95,9	96	100			

Bilaga 5:2. Resultat av mekanisk analys. Broby, Åbylund och Västraby

Mekanisk analys (fraktionerna angivna i %)

Fmj = finmjäla Ms = Mellan sand Mull = Korr. för glöd. förlust
 Gmj = Grovmjäla Gs = Grovsand V.gr = Vissningsgräns beräknad från
 Fmo = Finmo Gl.f = Glöd. förlust kornsstorleksdata
 Gmo = Grovmo Fel% = Bör ej överstiga 5%

Provplats: Broby och Åbylund
 Utskriftsdatum: 2001-8-31

Provanm.	Ler	Fmj	Gmj	Fmo	Gmo	Ms	Gs	Gl.f	Fel%	Mull	V.gr
tunna fält mj	47.2	7.4	10.6	8.1	12.2	5.6	2.6	6.3	1.0	2.7	17.6
Kumulativ procen	47.2	54.6	65.2	73.3	85.5	91.1	93.7	100.			
tunna fält alv	64.2	11.8	6.1	6.7	4.1	1.8	0.7	4.5	0.5	0.5	22.1
Kumulativ procen	64.2	76.0	82.1	88.8	93.0	94.8	95.5	100.0			
tunna vändteg mj	41.2	11.2	7.1	10.9	13.2	6.7	2.8	6.8	-3.6	3.9	15.1
Kumulativ procen	41.2	52.4	59.5	70.4	83.6	90.3	93.2	100.0			
tunna vändteg alv	61.8	12.6	7.6	6.7	5.6	1.4	0.7	3.7	-0.8	0.0	21.5
Kumulativ procen	61.8	74.4	82.0	88.6	94.3	95.6	96.3	100.			
fält körspår slang	31.3	8.8	12.9	10.3	20.2	8.5	2.9	5.1	-4.3	2.7	12.0
Kumulativ procen	31.3	40.1	53.0	63.3	83.5	92.0	94.9	100.			
fält körspår slang	52.6	12.1	10.3	6.9	8.6	4.1	1.8	3.7	-1.9	0.2	18.7
Kumulativ procen	52.6	64.7	75.0	81.9	90.4	94.6	96.3	100.0			
fält ej körspår slan	29.8	10.2	12.4	10.4	20.0	9.3	2.8	5.1	-5.2	2.7	11.6
Kumulativ procen	29.8	40.0	52.4	62.8	82.8	92.1	94.9	100.0			
fält ej körspår slan	49.1	14.7	12.9	4.3	6.9	5.2	2.7	4.1	-1.6	0.8	17.8
Kumulativ procen	49.1	63.9	76.7	81.0	87.9	93.1	95.9	100.0			

Provplats: Västraby
 Utskriftsdatum: 2001-8-30

Provanm.	Ler	Fmj	Gmj	Fmo	Gmo	Ms	Gs	Gl.f	Fel%	Mull	V.gr
3-m fält mj	22,1	3,9	6,9	8,5	18,4	28,5	6,4	5,4	-0,8	3,3	8,8
Kumulativ procen	22,1	26,1	32,9	41,4	59,8	88,2	94,6	100			
3 radigt fält alv	49,2	14,8	16	10,2	3,8	2	0,4	3,6	-0,6	0,3	17,9
Kumulativ procen	49,2	64	79,9	90,1	93,9	96	96,4	100			
6 radigt fält mj	17,8	4,6	5,8	5,8	19,1	34,4	7,7	4,7	-4,7	3	7,6
Kumulativ procen	17,8	22,4	28,2	34	53,1	87,5	95,3	100			
6 radigt fält alv	40,2	10,7	10,9	5,6	4,4	20,7	4,9	2,7	-0,2	0	14,9
Kumulativ procen	40,2	50,9	61,8	67,4	71,7	92,4	97,3	100			
6 radig vändteg m	20,5	4,1	7,4	7,5	19,5	29,7	6	5,4	-2,5	3,4	8,4
Kumulativ procen	20,5	24,6	32	39,5	59	88,6	94,6	100			
6radig vändteg alv	51,3	13,5	14,4	12,5	3,3	1,2	0,2	3,6	-0,4	0,1	18,4
Kumulativ procen	51,3	64,9	79,2	91,8	95	96,2	96,4	100			

Bilaga 5:3. Resultat av mekanisk analys. Kullsegård, Par 2 och Par 3

Mekanisk analys (fraktionerna angivna i %)

Provplats: Kullsegård

Utskriftsdatum: 2001-8-31

Provanm.	Ler	Fmj	Gmj	Fmo	Gmo	Ms	Gs	Gl.f	Fel%	Mull	V.gr
fält lättare mj	13,4	3,6	6	7,4	18,3	30,8	14,9	5,6	-2,8	4,3	6,2
Kumulativ procent	13,4	16,9	23	30,4	48,7	79,5	94,4	100			
fält lättare alv	8,3	2,3	3,3	6,6	16,5	38,7	19,6	4,7	-0,9	3,9	4,6
Kumulativ procent	8,3	10,6	14	20,5	37	75,7	95,3	100			
lättare vändteg mj	9	2,7	4,9	7,8	18,3	38,2	15,2	3,9	-1,1	3,1	4,8
Kumulativ procent	9	11,7	16,6	24,4	42,7	80,8	96,1	100			
fält lättare vändteg alv	3,3	0,6	2,9	6,1	21,7	44,9	18,9	1,6	-3,2	1,3	3
Kumulativ procent	3,3	3,9	6,8	12,9	34,6	79,5	98,4	100			
styvare vändteg mj	25,7	7,7	14,9	20,1	14,9	10	1,5	5,3	-1,9	3,1	10,2
Kumulativ procent	25,7	33,3	48,2	68,3	83,2	93,1	94,7	100			
styvare vändteg alv	44,2	9,2	13,9	18,2	7,9	3,4	0,5	2,8	0,3	0	15,9
Kumulativ procent	44,2	53,4	67,2	85,4	93,3	96,7	97,2	100			
styvare fält mj	25,5	7,9	15,9	23,6	14,8	6,5	1,1	4,6	-1,2	2,3	10,2
Kumulativ procent	25,5	33,5	49,4	73	87,8	94,4	95,4	100			
styvare fält alv	36,3	7,3	10,1	11	19	12	1,5	2,7	-0,9	0	13,4
Kumulativ procent	36,3	43,7	53,8	64,8	83,7	95,7	97,3	100			

Mekanisk analys (fraktionerna angivna i %)

Provplatser: Par 2 och Par 3

(median av analyser från fyra tillfällen)

Provanm.	LER MATJ	LER ALV	SG MATJ	SG ALV	MULL MATJ	MULL ALV
Par 2, medelgård	22,4	23,8	40,33	34,9	2,8	1,3
Par 2, plusgård	22,9	23,6	36,33	33,6	3,3	1,4
Par 3, medelgård	17,8	19,3	46,17	45,2	3,1	1,4
Par 3, plusgård	17,8	19,9	44,17	42,9	3,5	1,5

LERMATJ = lerhalt (%) matjord, 0-25 cm

LERALV = lerhalt (%) alv, 25-50 cm

SGMATJ = sand + grovmohalt matjord, 0-25 cm

SGALV = sand+grovmohalt alv, 25-50 cm

MULLMATJ = mullhalt matjord, 0-25 cm

MULLALV = mullhalt alv, 25-50 cm

Bilaga 6:1. Fälttester och laboratorieresultat. Provplats i fält

		Spadtest	Porer		Maskar i grop	Genomsläpplighet (cylinder)		Infil. (fält) (m/dygn)	Skrymdensitet (g/cm ³)
			>2mm	<2mm		1h (m/dygn)	24h (m/dygn)		
Wiggeby	<i>Med stallgödsel</i>								
	Matjord	3	Svårt att se	Svårt att se	10	2,1	0,46	27	1,3
	Plogsula	>8	20	Svårt att se		2,81	2,03	-	1,46
	Alv	>8	45	Svårt att se		5	2,7	0,9	1,44
	<i>Utan Stallgödsel</i>								
	Matjord	4	Svårt att se	Svårt att se	0	1,9	0,52	37	1,32
	Plogsula	>8	0	300		1,38	1,2	1,5	1,57
	Alv	>8	2	300		1,2	1,46	7,3	1,49
Hacksta	<i>Med frövall</i>								
	Matjord	1	50	300	15	6,5	2,28	23	1,03
	Plogsula	5	25	100		0,2	0,5	7	1,3
	Alv	3	75	300		0,03	0,01	1,3	1,2
	<i>Utan frövall</i>								
	Matjord	2	5	Svårt att se	0	0,55	0,17	15	1,14
	Plogsula	>8	10	20		0,02	0,07	5	1,42
	Alv	>8	15	10		0,08	0	4	1,33
Broby	<i>Släplang</i>								
	Matjord	5	Svårt att se	Svårt att se	10	0,022	0,546	0,4	1,51
	Plogsula	>8	35	100		0,147	0,711	3,9	1,59
	Alv	>8	55	100		1,11	1,4	2,6	1,6
	<i>Gödseltunna</i>								
	Matjord	>8	2	25	1	0	0	0,6	0,55
	Plogsula	>8	1	200		0,005	0,04	2,84	1,45
	Alv	>8	13	300		0,01	0	0,54	1,41
Vastraby	<i>6-Radig</i>								
	Matjord	2,5	Svårt att se	Svårt att se	5	0,046	0,07	0,18	1,6
	Plogsula	4	Svårt att se	Svårt att se		0,009	0,14	0,2	1,85
	Alv	>8	Svårt att se	Svårt att se		0,01	0,011	1,05	1,59
	<i>3-Radig</i>								
	Matjord	2,5	Svårt att se	Svårt att se	5	0,49	0,72	11,9	1,48
	Plogsula	6	2	Svårt att se		0	0	0	1,61
	Alv	>8	2	300		0,02	0,1	0	1,42
Kullsegård	<i>Lätt jordart</i>								
	Matjord	2,5	Svårt att se	Svårt att se	15	2,7	3	2,3	1,42
	Plogsula	4	2	Svårt att se		0,34	0,43	0,4	1,46
	Alv	4,5	20	Svårt att se		0,32	0,41	grundvatten	1,39
	<i>Styv jordart</i>								
	Matjord	3	Svårt att se	Svårt att se	15	4,5	1	11	1,37
	Plogsula	>8	2	20		0,85	0,66	0	1,61
	Alv	>8	30	400		2,8	0,87	0,25	1,65
Par 2	<i>Medelgård</i>								
	Matjord	2	Svårt att se	Svårt att se	2	2,96	Inga värden	18	1,46
	Plogsula	>8	1	200		0,5	Inga värden	Sprickor	1,66
	Alv	>8	4	300		2,32	Inga värden	2,4	1,66
	<i>Plusgård</i>								
	Matjord	4	Svårt att se	Svårt att se	2	2,9	Inga värden	18,7	1,46
	Plogsula	>8	2	250		0,06	Inga värden	0	1,66
	Alv	>8	20	350		2,5	Inga värden	1,2	1,65
Par 3	<i>Medelgård</i>								
	Matjord	>8	Svårt att se	Svårt att se	0	2,67	Inga värden	100	1,48
	Plogsula	>8	5	400		0,31	Inga värden	Sprickor	1,67
	Alv	>8	8	400		2,01	Inga värden	2,8	1,67

Bilaga 6:2. Fälttester och laboratorieresultat. Provplats på vändteg

		Spadtest	Porer >2mm	<2mm	Maskar i grop	Genomsläpplighet (cylinder) 1h (m/dygn) 24h (m/dygn)	Infil. (fält) (m/dygn)	Skrymdensitet (g/cm3)	
Wiggeby	Med stallgödsel								
	Matjord	5	Svårt att se		1	0,9	0,22	12,5	1,25
	Plogsula	>8	Svårt att se			0,35	0,82	0	1,52
	Alv	>8	15	100		0,62	0,7	0	1,46
	Utan Stallgödsel								
	Matjord	5	Svårt att se		0	2,3	0,76	1	1,32
	Plogsula	>8	0	50		1,5	0,19	4,33	1,44
	Alv	>8	4	20		1,44	0,1	5,3	1,43
Hacksta	Med frövall								
	Matjord	1	Svårt att se		10	1,7	1,4	16,2	1,1
	Plogsula	>8	Svårt att se			0,6	0,5	31	1,15
	Alv	>8	30	300		0,03	0,3	2,8	1,47
	Utan frövall								
	Matjord	3	Svårt att se		0	0,59	0,08	72	1,21
	Plogsula	>8	Svårt att se			0,33	0,04	5	1,4
	Alv	>8	10			0,005	0	0	1,43
Broby	Släplang								
	Matjord	>8	Svårt att se		2	inga värden	3,1	inga värden	
	Plogsula	>8	15	100		inga värden	5,6	inga värden	
	Alv	>8	10	100		inga värden	0	inga värden	
Åbylund	Gödseltunna								
	Matjord	>8	Svårt att se		0	0,06	0,16	2,1	1,28
	Plogsula	>8	0	50		0,02	0	1,8	1,32
	Alv	>8	10	100		0	0	1,4	1,38
Västraby	6-Radig								
	Matjord	4	Svårt att se		0	0,1	1,2	1	1,57
	Plogsula	>8	2			0	0,3	0,25	1,74
	Alv	>8	2	300		0,005	0,005	0,5	1,7
Kullsegård	Lätt jordart								
	Matjord	3	Svårt att se		15	4,4	2,5	1,6	1,37
	Plogsula	5	2		endast i	2,6	2,6	0,9	1,54
	Alv	5	4		matjorden	0,35	0,37	1,72	1,81
	Styv jordart								
	Matjord	4	Svårt att se		20	4,3	2,5	3,9	1,37
	Plogsula	>8	4	50		0,02	0,49	0,9	1,66
	Alv	>8	3	200		1,5	1,38	0	1,59
Par 2	Medelgård								
	Matjord	>8	Svårt att se		0	Inga värden	0		
	Plogsula	>8	0,5			Inga värden	Sprickor		
	Alv	>8	2	4		Inga värden	0,32		
	Plusgård								
	Matjord	5	Svårt att se		3	Inga värden	4		
	Plogsula	>8	Sprickor	250		Inga värden	Sprickor		
	Alv	>8	10	350		Inga värden	0,5		
Par 3	Medelgård								
	Matjord	>8	Svårt att se		1	Inga värden	3,2		
	Plogsula	>8	2	200		Inga värden	4,3		
	Alv	>8	3	200		Inga värden	1,3		
	Plusgård								
	Matjord	5	Svårt att se		0	Inga värden	25,7		
	Plogsula	>8	2	200		Inga värden	3,52		

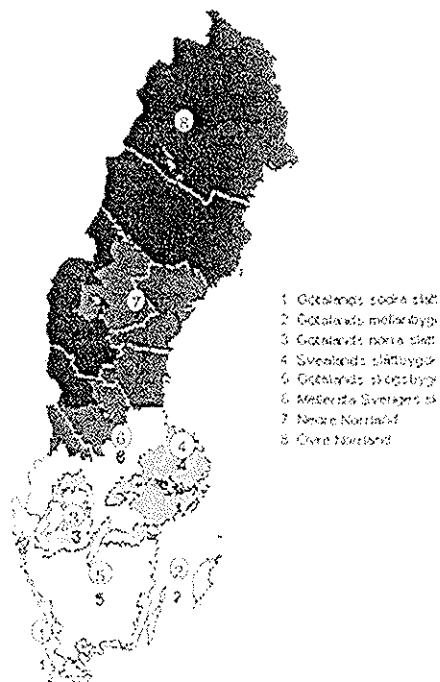
Bilaga 7:1. Hackstas odlingssystem. Gård och maskinpark

Indata för gården

Grundläggande uppgifter om gården och maskinparken

Gårdsnamn	Hacksta
Brukare	Jarl Rydberg/Olle Hakelius
Odlingssområde (välj från kartan)	Svealands slättbygder
Startår	1998
Telefon	

Maskinpark

[illegible]

Källa: SCB

(<http://www.scb.se/sm/jo15sm0001%5Fkartor.asp#BM2>)

Redskap och övriga maskiner	Arbetsbredd på redskap	Vikt (Kg)	Ringtryck (k P)				Lastvikt Kg
			Fram	Bak	Bak2	Bak3	
Stubbearbetning	4,3	2100					
Spruta	24	1800	2				4000
plog	2,4	2500					
Vältning	10	2600					
Harvning	11	4000					
Sådd kombi	4	3000					2000
Mineralgödsel	24	1800	1,5				4000
Huggning	3,2	1500	1,5				
Press	3,2	1500	1,5				
implastare	100	700	1,5				
Tröska	6	7000	1	1			5000
Transport	100	3000	1,5				12000

Bilaga 7:2. Hackstas odlingssystem. Översikt

Hacksta		Arsmånsklassning		Tillfört organiskt material		Datum med årsangivelse		Bortförd ha Barmarksdagar		Organisk substans		Packning				
Ar	Skifte	Gröda	Typ	Mängd (t/s-halt)	Såtid	Uppkomst	Skörd	Avkastning (kg/ha)	vår	höst	totalt	Rötter	torkdagar	ton*km/ha	antal körnr	
1998	Ej, förvall	Höstveite				22-sep-1997	27-aug-1998	5870 Nej			43	5838	5838	45	1	11
	Frövall	Vall					5-aug-1998	9000 Ja				1879	9394	59	1	5
1999	Ej, förvall	Havre				15-maj-1999	4-sep-1999	4700 Nej		36	140	4674	4674	81	17	9
	Frövall	Vall					5-aug-1999	10000 Ja				2088	10438	133	1	7
2000	Ej, förvall	Ärtor				14-maj-2000	2-sep-2000	3050 Nej		124	132	2489	2489	59	18	10
	Frövall	Vall					5-aug-2000	9000 Ja				1879	9394	59	1	5
2001	Ej, förvall	Höstveite				22-sep-2000	27-aug-2001	8000 Nej			25	7956	7956	90	1	11
	Frövall	Höstveite				22-sep-2000	27-aug-2001	8000 Nej			27	7956	7956	90	18	12

Bilaga 7:3. Hackstas odlingsystem. Överfarter och markbelastningar

Skifte	År	Traktor	Bearb	Packning	Körningar	ax1.bel	ax2.bel	ax1.kritisk nivå	ax2.kritisk nivå	total markbelastning
Frövall	2 001	BM 2650	Hemtransport	1	1	12 000	0	6 000	10 500	-200
Frövall	2 001	Tröska	Tröskning	0	1	8 400	3 600	7 500	7 500	#N/A
Frövall	2 001	Valmet 8550	Hemligbet skördning	0	2	4 640	0	6 000	10 500	-3 000
Frövall	2 001	BM 2650 sputa	Sprutning ogräs	0	3	4 640	0	6 000	10 500	-500
Frövall	2 001	Valmet 8550	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 800
Frövall	2 001	Magnum 7140	Harvning	0	3	0	0	10 500	10 500	-600
Frövall	2 001	Magnum 7140	Plöjning	17	1	0	0	10 500	10 500	2 516
Förvall	2 000	BM 2650	Hemtransport	1	1	12 000	0	6 000	10 500	0
Förvall	2 000	Tröska	Tröskning	0	1	8 400	3 600	7 500	7 500	#N/A
Förvall	2 000	BM 2650 sputa	Sprutning ogräs	0	1	4 640	0	6 000	10 500	-500
Förvall	2 000	Valmet 8550	Hemligbet skördning	0	2	4 640	0	6 000	10 500	0
Frövall	1 999	BM 2650	Hemtransport	1	1	12 000	0	6 000	10 500	0
Frövall	1 999	Tröska	Tröskning	0	1	8 400	3 600	7 500	7 500	#N/A
Frövall	1 999	Valmet 8550	Balning	0	1	1 200	0	6 000	10 500	-4 000
Frövall	1 999	Valmet 8550	Huggnig (vall)	0	1	1 200	0	6 000	10 500	-4 300
Frövall	1 999	BM 2650 sputa	Sprutning ogräs	0	1	4 640	0	6 000	10 500	-500
Frövall	1 999	Valmet 8550	Hemligbet skördning	0	2	4 640	0	6 000	10 500	0
Frövall	1 998	BM 2650	Hemtransport	1	1	12 000	0	6 000	10 500	0
Frövall	1 998	Tröska	Tröskning	0	1	8 400	3 600	7 500	7 500	#N/A
Frövall	1 998	BM 2650 sputa	Sprutning ogräs	0	1	4 640	0	6 000	10 500	-500
Frövall	1 998	Valmet 8550	Hemligbet skördning	0	2	4 640	0	6 000	10 500	0
Ej, frövall	2 001	BM 2650	Hemtransport	1	1	12 000	0	6 000	10 500	-200
Ej, frövall	2 001	Tröska	Tröskning	0	1	8 400	3 600	7 500	7 500	#N/A
Ej, frövall	2 001	Valmet 8550	Hemligbet skördning	0	2	4 640	0	6 000	10 500	-3 000
Ej, frövall	2 001	BM 2650 sputa	Sprutning ogräs	0	3	4 640	0	6 000	10 500	-500
Ej, frövall	2 001	Valmet 8550	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 800
Ej, frövall	2 001	Magnum 7140	Harvning	0	3	0	0	10 500	10 500	-600
Ej, frövall	2 000	BM 2650	Hemtransport	1	1	12 000	0	6 000	10 500	-200
Ej, frövall	2 000	Tröska	Tröskning	0	1	8 400	3 600	7 500	7 500	#N/A
Ej, frövall	2 000	BM 2650 sputa	Sprutning ogräs	0	2	4 640	0	6 000	10 500	-500
Ej, frövall	2 000	Valmet 8550	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 800
Ej, frövall	2 000	Magnum 7140	Harvning	0	3	0	0	10 500	10 500	-600
Ej, frövall	2 000	BM 2650	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 000
Ej, frövall	2 000	Magnum 7140	Plöjning	17	1	0	0	10 500	10 500	2 516
Ej, frövall	1 999	BM 2650	Hemtransport	1	1	12 000	0	6 000	10 500	-200
Ej, frövall	1 999	Tröska	Tröskning	0	1	8 400	3 600	7 500	7 500	#N/A
Ej, frövall	1 999	BM 2650 sputa	Sprutning ogräs	0	2	4 640	0	6 000	10 500	-1 200
Ej, frövall	1 999	Valmet 8550	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 800
Ej, frövall	1 999	Magnum 7140	Harvning	0	3	0	0	10 500	10 500	-600
Ej, frövall	1 999	Magnum 7140	Plöjning	17	1	0	0	10 500	10 500	2 644
Ej, frövall	1 998	BM 2650	Hemtransport	1	1	12 000	0	6 000	10 500	-200
Ej, frövall	1 998	Tröska	Tröskning	0	1	8 400	3 600	7 500	7 500	#N/A
Ej, frövall	1 998	Valmet 8550	Hemligbet skördning	0	2	4 640	0	6 000	10 500	-3 000
Ej, frövall	1 998	BM 2650 sputa	Sprutning ogräs	0	3	4 640	0	6 000	10 500	-500
Ej, frövall	1 998	Valmet 8550	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 800
Ej, frövall	1 998	Magnum 7140	Harvning	0	3	0	0	10 500	10 500	-600

Bilaga 8:1. Brobys/Åbylunds odlingssystem. Broby Gård och maskinpark

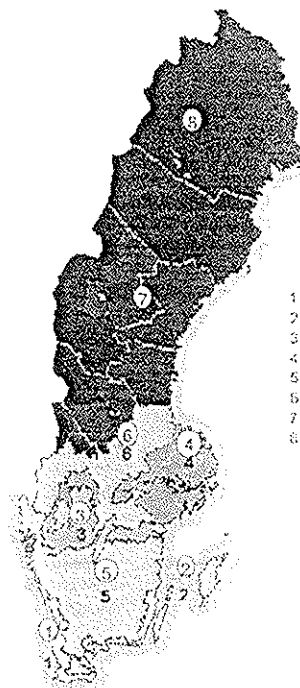
Indata för gården

Grundläggande uppgifter om gården och maskinparken

Gårdsnamn	Broby
Brukare	Peter Malmström
Odlingsområde (välj från kartan)	Götalands norra slättbygder
Startår	1998
Telefon	

Maskinpark

Traktor/ Dragmaskin	Vikt (Kg)	Ringtryck bak (k P)
JD 7710	8300	1,2
JD 6800	5400	2,5
LM 4200	5000	1,2
IH case	9000	1,2
JD 6800 dubbel	5400	0,6
JD 6800 enkel	5400	1,2



- 1 Götalands östra slätt
- 2 Götalands mellanbygd
- 3 Götalands norra slätt
- 4 Svealands slättbygd
- 5 Götalands skogsbygd
- 6 Mellan Sverige
- 7 Nedre Norrland
- 8 Övre Norrland

Källa: SCB

(<http://www.scb.se/sm/jo15sm0001%5Fkartor.asp#BM2>)

Redskap och övriga maskiner	Arbetsbredd på redskap	Vikt (Kg)	Ringtryck (k P)				Lastvikt Kg
			Fram	Bak	Bak2	Bak3	
Stubbredskap	4,5	3000					
Spruta	24	1500	2,5				2400
plog	2,1	3000					
Rexiuskultivator	8,2	4000					
Såmaskin	4	2000					900
sådd kombi	4	4000					1800
gödnings-spridare	12	2000	1,2				2400
Tröska	6	7000	0,8	1,2			4000
Stallgödsel(pump)	12	500					100
Stallgödsel(tunna)	12	5000	2,8	2,8			18000
Transport	50	4500	0,8				10000
betesputs	3,2	1500					

4

Bilaga 8:3. Brobys/Åbylunds odlingssystem. Broby överfarter och markbelastningar

Skifte	År	Traktor	Bearb	Packning	Körningar	ax1.bel	ax2.bel	ax1.kritisk nivå	ax2.kritisk nivå	traktor-överbelastning
Släpslang	2 001	JD 6800	Stubbbehandling (spårlång)	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Släpslang	2 001	JD 6800 enkel	Hemtransport	1	1	11 600	0	8 100	10 500	0
Släpslang	2 001	Tröska	Tröskning	0	1	7 700	3 300	8 100	6 900	#N/A
Släpslang	2 001	JD 6800	Stubbbehandling (spårlång)	0	1	3 520	0	6 900	10 500	-1 600
Släpslang	2 001	JD 6800	Sprutning ogräs	0	1	3 120	0	6 000	10 500	-1 800
Släpslang	2 001	JD 6800 dubbel	Sådd kombi	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Släpslang	2 001	JD 7710	Plöjning	19	1	0	0	10 500	10 500	2 484
Släpslang	2 001	JD 6800 dubbel	Djupkult	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 000
Släpslang	2 001	JD 6800 dubbel	Stubbbehandling	0	1	0	0	10 500	10 500	-5 000
Släpslang	2 000	JD 6800	Stubbbehandling (spårlång)	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Släpslang	2 000	JD 6800 enkel	Hemtransport	1	1	11 600	0	8 100	10 500	0
Släpslang	2 000	Tröska	Tröskning	0	1	7 700	3 300	8 100	6 900	#N/A
Släpslang	2 000	JD 6800	Stubbbehandling (spårlång)	0	1	3 520	0	6 900	10 500	-1 600
Släpslang	2 000	JD 6800	Sprutning ogräs	0	1	3 120	0	6 000	10 500	-1 800
Släpslang	2 000	JD 6800 dubbel	Sådd kombi	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Släpslang	2 000	JD 7710	Plöjning	19	1	0	0	10 500	10 500	2 484
Släpslang	2 000	JD 6800 dubbel	Djupkult	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 000
Släpslang	2 000	JD 6800 dubbel	Stubbbehandling	0	1	0	0	10 500	10 500	-5 000
Släpslang	1 999	IH case	Stubbbehandling (spårlång)	16	1	9 200	11 500	6 000	6 000	3 550
Släpslang	1 999	JD 6800 enkel	Hemtransport	1	1	11 600	0	8 100	10 500	-700
Släpslang	1 999	Tröska	Tröskning	0	1	7 700	3 300	8 100	6 900	#N/A
Släpslang	1 999	JD 6800 enkel	Stubbbehandling (spårlång)	0	1	3 520	0	6 900	10 500	-2 700
Släpslang	1 999	JD 6800	Sprutning ogräs	0	2	3 120	0	6 000	10 500	-1 900
Släpslang	1 999	JD 6800 dubbel	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 000
Släpslang	1 999	JD 7710	Plöjning	19	1	0	0	10 500	10 500	2 484
Släpslang	1 999	JD 6800 dubbel	Stubbbehandling	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 300
Släpslang	1 998	JD 6800 enkel	Stubbbehandling (spårlång)	0	1	0	0	10 500	10 500	0

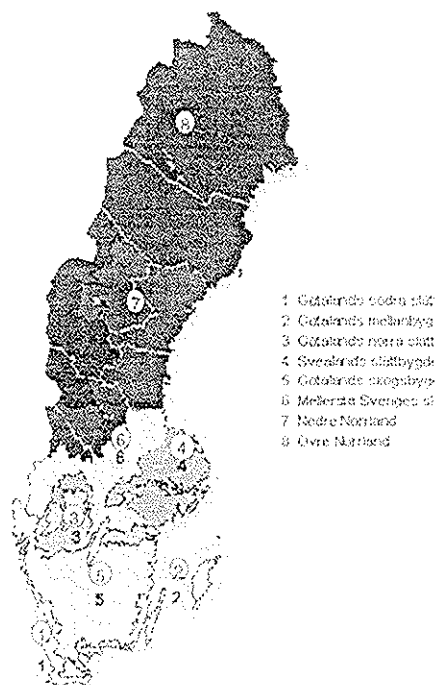
Bilaga 8:4. Bröbys/Åbylunds odlingssystem. Åbylund Gård och maskinpark

Indata för gården

Grundläggande uppgifter om gården och maskinparken

Gårdsnamn	Åbylund
Brukare	Claes Göransson
Odlingsområde (välj från kartan)	Götalands norra slättbygd:
Startår	1998
Telefon	

Maskinpark

[illegible]

Källa: SCB

(<http://www.scb.se/sm/fo15sm0001%5Fkarlor.asp#BM2>)

[illegible]

Bilaga 8:5. Brobys/Åbylunds odlingssystem. Översikt Åbylund

Åbylund		Årsmånsklassning		Sommar		Höst		Vår		Tillfört organiskt material		Datum med årsangivelse		Bortförd ha Barmarksdagar		Avkastning (kg/ha)		Organisk substans		Packing						
År	Skifte	Gröda	Typ	Mängd (t/s-hall)	Såtid	Uppkomst	Skörd	27-sep-1997	21-jul-1998	19-aug-1998	14-aug-1999	4-sep-2000	27-sep-1999	28-aug-2001	6000 Ja	Avkastning (kg/ha)	vår	höst	totalt	32	5190	Rötter	5967	61	32	10
1998	Tunna	Höstkorn	Svin Flyt	30000	9%	27-sep-1997	21-jul-1998	6000 Ja																		
1999	Tunna	Höstraps	Svin flyt	30000	9%	19-aug-1998	14-aug-1999	3000 Nej																		
2000	Tunna	Höstvelte	Svin Flyt	30000	9%	27-sep-1999	4-sep-2000	8170 Ja																		
2001	Tunna	Höstvelte	Svin Flyt	30000	9%	27-sep-2000	28-aug-2001	7000 Ja																		

Bilaga 8:6. Brobys/Åbylunds odlingssystem. Överfarter och markbelastningar Åbylund

Skifte	År	Traktor	Bearb	Packning	Kömingar	ax1.bel	ax2.bel	ax1.kritisk nivå	ax2.kritisk nivå	traktorbelastning
Tunna	2 001	Tröska	Tröskning	4	1	12 320	5 280	8 100	6 900	#N/A
Tunna	2 001	Spruta (mb track)	Sprutning ogräs/märsk	0	1	3 300	3 300	6 000	6 000	#N/A
Tunna	2 001	JD 7800	Hjulsådd/märsk (sprutning)	14	1	10 000	12 500	6 000	6 000	3 200
Tunna	2 001	JD 2040	Mörnsådd/märsk (sprutning)	0	1	2 800	0	7 500	10 500	0
Tunna	2 001	JD 4640	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 500
Tunna	2 001	JD 4640	Harvning	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 000
Tunna	2 001	JD 4640	Sladd	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 000
Tunna	2 001	JD 4640, plöjning	Plöjning	14	1	0	0	10 500	10 500	2 059
Tunna	2 000	Tröska	Tröskning	4	1	12 320	5 280	8 100	6 900	#N/A
Tunna	2 000	Spruta (mb track)	Sprutning ogräs/märsk	0	1	3 300	3 300	6 000	6 000	#N/A
Tunna	2 000	JD 2040	Mörnsådd/märsk (sprutning)	0	1	2 800	0	7 500	10 500	-4 500
Tunna	2 000	JD 7800	Hjulsådd/märsk (sprutning)	14	1	10 000	12 500	6 000	6 000	3 200
Tunna	2 000	JD 4640	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Tunna	2 000	JD 4640	Djupkult	0	2	0	0	10 500	10 500	-1 500
Tunna	1 999	JD 2040	Mörnsådd/märsk (sprutning)	0	1	2 800	0	7 500	10 500	0
Tunna	1 999	Tröska	Tröskning	4	1	12 320	5 280	8 100	6 900	#N/A
Tunna	1 999	Spruta (mb track)	Sprutning ogräs	0	2	3 300	3 300	6 000	6 000	#N/A
Tunna	1 999	JD 7800	Hjulsådd/märsk (sprutning)	14	1	10 000	12 500	6 000	6 000	3 200
Tunna	1 999	JD 4640	Sådd	0	1	4 000	0	6 000	10 500	0
Tunna	1 999	JD 4640	Harvning	0	2	0	0	10 500	10 500	-2 000
Tunna	1 999	JD 4640	Sladd	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 900
Tunna	1 999	JD 4640, plöjning	Plöjning	14	1	0	0	10 500	10 500	2 114
Tunna	1 998	JD 2040	Mörnsådd/märsk (sprutning)	0	1	2 800	0	7 500	10 500	0
Tunna	1 998	Tröska	Tröskning	4	1	12 320	5 280	8 100	6 900	#N/A
Tunna	1 998	Spruta (mb track)	Sprutning ogräs	0	2	3 300	3 300	6 000	6 000	#N/A
Tunna	1 998	JD 7800	Hjulsådd/märsk (sprutning)	14	1	10 000	12 500	6 000	6 000	3 200
Tunna	1 998	JD 4640	Sådd	0	1	4 000	0	6 000	10 500	0
Tunna	1 998	JD 4640	Harvning	0	2	0	0	10 500	10 500	-2 000
Tunna	1 998	JD 4640	Sladd	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 900
Tunna	1 998	JD 4640, plöjning	Plöjning	14	1	0	0	10 500	10 500	2 114

Bilaga 9:1. Västrabys odlingssystem. Gård och maskinpark

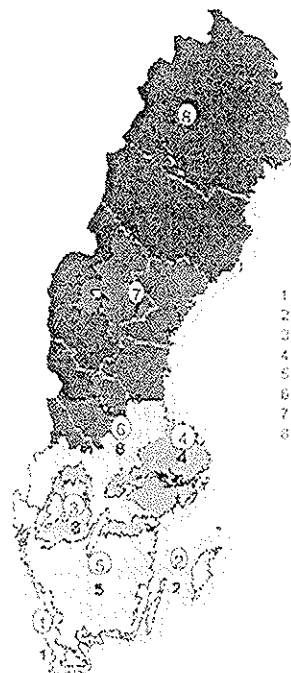
Indata för gården

Grundläggande uppgifter om gården och maskinparken

Gårdsnamn	Västraby
Brukare	Magnus Ströman
Odlingsområde (välj från kartan)	Götalands södra slättbygder
Startår	1998
Telefon	

Maskinpark

Traktor/ Drägmaskin	Vikt (Kg)	Ringtryck bak (k P)
Valmet 905	4200	0,4
Valmet 8400	5500	0,5
Case IH 7240	9300	0,4
Case IH MX 270	9300	0,4
Case IH MX 170	6800	0,4
Valmet 805	4000	0,5
Fiat 180	6300	
Case MX 270 plog	9300	1
Valmet 805 spruta	4000	1,8
Case MX 170 göds	6800	1,2
Hemtransport	5500	1,5



Källa: SCB

(<http://www.scb.se/sm/jo15sm0001%5Fkartor.asp#BM2>)

Redskap och övriga maskiner	Arbetsbredd på redskap	Vikt (Kg)	Ringtryck (k P)				Lastvikt Kg
			Fram	Bak	Bak2	Bak3	
Stubbredskap	6	3250					
Spruta	24	1500		1,8			4000
Plog	2,4	3000		2			
Harv	9,5	2500					
såmaskin	6	2800		0,4			4000
vält	12	4500					
ograshacka	9	1100					
Mine göd. Spridare	24	1500					4000
Tröska	9	17000		1,8	1,8		8000
Transport	20	3500		2	2		10000
Arttröska	3	15000		2,2	2,2		1000
Flytgödseltunna	12	5000		1,5	1,5		15000
socker, 6radig	3	17000		1,6	1,6		12000
socker, 3radig	1,5	7000		1			7000
såmaskin socker	9	2000		0,5			4000

Bilaga 9.2. Västrabys odlingssystem. Översikt

Västraby		Årsmånsklassning														
År	Skifte	Tillfört organiskt material		Datum med årsangivelse		Bortförd ha		Organisk substans				Packning				
		Gröda	Typ	Mängd (t ts-hall)	Såtid	Uppkomst	Skörd	Avkastning (kg/ha)	vår	höst	totalt	Rötter	torkdagar	ton*km/ha	antal körir	
1998	3-radig	Ärter				13-maj-1998	20-jul-1998	1500 Nej		42	120	162	1224	1224	31	12
	6-radig	Ärter				13-maj-1998	20-jul-1998	1500 Nej		42	120	162	1224	1224	31	12
1999	3-radig	Höstvele				27-sep-1998	15-aug-1999	7850 Nej			74	74	7806,825	7806,825	87	9
	6-radig	Höstvele				27-sep-1998	15-aug-1999	7850 Nej			74	74	7806,825	7806,825	87	9
2000	3-radig	Socketbrf flyt ko		29000	0,06	10-maj-2000	11-okt-2000	30000		130	152	282	7860	288	98	10
	6-radig	Socketbrf flyt ko		29000	0,06	10-maj-2000	11-okt-2000	30000		130	152	282	7860	288	98	10
2001	3-radig	Vårvele				25-apr-2001	4-sep-2001	6500 Nej		49	60	109	6464	6464	85	9
	6-radig	Vårvele				25-apr-2001	4-sep-2001	6500 Nej		49	60	109	6464	6464	85	9

Bilaga 9.3. Västrabys odlingssystem. Överfarter och markbelastningar

Skifte	År	Traktor	Bearb	Packning	Körningar	ax1.bel	ax2.bel	ax1.kritisk nivå	ax2.kritisk nivå	traktor-överbelastning
6-radig	2 000	socker, 6radig	Uppmark. 2 x betor	51	1	14 500	14 500	6 000	6 000	#N/A
3-radig	2 001	Hemtransport	Hemtransport	1	1	6 750	6 750	6 000	6 000	-250
3-radig	2 001	Tröska	Tröskning	15	1	17 500	7 500	6 000	6 000	#N/A
3-radig	2 001	Valmet 805	Stensladdad sprutning	0	1	0	0	10 500	10 500	0
3-radig	2 001	Valmet 805 spruta	Sprutning ogräs	0	2	5 500	0	6 000	10 500	-3 000
3-radig	2 001	Valmet 905	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	-5 000
3-radig	2 001	Case IH MX 170	Sädd	0	1	6 800	0	9 300	10 500	-3 000
3-radig	2 001	Case IH MX 270	Harvning	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 000
3-radig	2 001	Case MX 270 plog	Plöjning	14	1	3 000	0	6 000	10 500	2 476
3-radig	2 000	Case MX 170 göds	Uppmark. 2 x betor	13	1	11 200	0	7 500	10 500	-300
3-radig	2 000	Case MX 170 göds	Stensladdad sprutning	5	1	8 000	10 000	6 000	6 000	976
3-radig	2 000	Valmet 805 spruta	Sprutning ogräs	0	2	5 500	0	6 000	10 500	-3 800
3-radig	2 000	Valmet 905	Häckning ogräs	0	1	0	0	10 500	10 500	-7 000
3-radig	2 000	Valmet 8400	Sädd	0	1	6 000	0	9 000	10 500	-6 000
3-radig	2 000	Case IH MX 270	Harvning	0	2	0	0	10 500	10 500	-3 000
3-radig	2 000	Case MX 270 plog	Plöjning	14	1	3 000	0	6 000	10 500	2 476
3-radig	2 000	Valmet 805	Sprutning stubb	0	1	4 400	0	6 000	10 500	-5 000
3-radig	1 999	Hemtransport	Hemtransport	1	1	6 750	6 750	6 000	6 000	-250
3-radig	1 999	Tröska	Tröskning	15	1	17 500	7 500	6 000	6 000	#N/A
3-radig	1 999	Valmet 805	Stensladdad sprutning	0	1	0	0	10 500	10 500	0
3-radig	1 999	Valmet 805 spruta	Sprutning ogräs	0	2	5 500	0	6 000	10 500	-3 000
3-radig	1 999	Valmet 905	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	-5 000
3-radig	1 999	Case IH MX 170	Sädd	0	1	6 800	0	9 300	10 500	-3 000
3-radig	1 999	Case IH MX 270	Harvning	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 000
3-radig	1 999	Case MX 270 plog	Plöjning	14	1	3 000	0	6 000	10 500	2 476
3-radig	1 998	Hemtransport	Hemtransport	1	1	6 750	6 750	6 000	6 000	-250
3-radig	1 998	Ärttröska	Tröskning	16	1	8 000	8 000	6 000	6 000	#N/A
3-radig	1 998	Valmet 805	Stensladdad sprutning	0	1	0	0	10 500	10 500	0
3-radig	1 998	Valmet 805 spruta	Sprutning ogräs	0	2	4 400	0	6 000	10 500	-3 000
3-radig	1 998	Valmet 905	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	-5 000
3-radig	1 998	Case IH MX 170	Sädd	0	1	6 800	0	9 300	10 500	-3 000
3-radig	1 998	Case IH MX 270	Harvning	0	2	0	0	10 500	10 500	-3 000
3-radig	1 998	Case MX 270 plog	Plöjning	14	1	3 000	0	6 000	10 500	2 476
3-radig	1 998	Case IH 7240	Stubbearbetning	0	2	0	0	10 500	10 500	0

Bilaga 10:1. Kullsegårds odlingssystem. Gård och maskinpark

Indata för gården

Grundläggande uppgifter om gården och maskinparken

Gårdsnamn	Kullsegård
Brukare	Bo Karlsson
Odlingsområde (välj från kartan)	Götalands södra slättbygder
Startår	1998
Telefon	

Maskinpark

Traktor/ Dragmaskin	Vikt (Kg)	Ringtryck bak (k P)
XL 844	4200	1,2
CiH	4150	1
MF	6400	1,1



Källa: SCB

(<http://www.scb.se/sm/jo15sm0001%5Fkartor.asp#BM2>)

[illegible]

Bilaga 10:2. Kullsegårds odlingssystem. Översikt

Kullsegård		Arsmånsklassning		Sommar		Höst		Vår		Tillfört organiskt material		Datum med årsangivelse		Bortförd ha Barmarksdagar		Organisk substans		Packning		antals kömr	
År	Skifte	Gröda	Typ	Mängd (t/ha)	Såtid	Uppkomst	Skörd	Avkastning (kg/ha)	vår	höst	totalt	Organisk substans		Packning		antals kömr					
												Röter	torkdagar	ton*km/ha	antal kömr						
1998	Lätt jordart	Vårkorn	Flyt	20000	9%	5-maj-1998	25-aug-1998	3400 Ja	26	120	146	2947	2774	32	6	10					
	Styv jordart	Vårkorn	Flyt	20000	9%	5-maj-1998	25-aug-1998	4000 Ja	26	120	146	3196	3264		6	10					
1999	Lätt jordart	Vårkorn	Flyt	20000	9%	15-maj-1999	12-aug-1999	1190 Nej	44	142	186	3695	1895	79	6	11					
	Styv jordart	Vårkorn	Flyt	20000	9%	15-maj-1999	12-aug-1999	1400 Nej	44	142	186	4030	2230	53	6	11					
2000	Lätt jordart	Höstvete	Flyt	20000	9%	25-sep-1999	25-aug-2000	2950 Nej		49	49	4734	2934	88	6	12					
	Styv jordart	Höstvete	Flyt	20000	9%	25-sep-1999	25-aug-2000	3500 Nej		49	49	5281	3481	78	6	12					
2001	Lätt jordart	Höstvete	Flyt	20000	9%	25-sep-2000	25-aug-2001	5100 Nej		36	36	6872	5072	100	6	13					
	Styv jordart	Höstvete	Flyt	20000	9%	25-sep-2000	25-aug-2001	6000 Nej		36	36	7767	5967	84	6	13					

Bilaga 10:3. Kullsegårds odlingssystem. Överfarter och markbelastningar

Skifte	År	Traktor	Bearb	Packning	Körningar	ax1.bel	ax2.bel	ax1.kritisk nivå	ax2.kritisk nivå	traktor-överbelastning
Lätt/styv	2 001	Tröska	Tröskning	0	1	5 250	2 250	7 500	6 000	#N/A
Lätt/styv	2 001	XL 844	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	2 001	CiH	Sprutning ogräs	0	2	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	2 001	XL 844	Maskingödsel spridning	0	2	2 640	0	6 000	10 500	0
Lätt/styv	2 001	CiH	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	2 001	XL 844	Harvning	0	3	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	2 001	XL 844	Plöjning	5	1	2 000	0	6 000	10 500	390
Lätt/styv	2 001	MF	Högskållning (fördring)	1	1	5 800	7 250	6 900	6 900	-460
Lätt/styv	2 001	CiH	Sprutning stubb	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	2 000	Tröska	Tröskning	0	1	5 250	2 250	7 500	6 000	#N/A
Lätt/styv	2 000	CiH	Sprutning ogräs	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	2 000	XL 844	Maskingödsel spridning	0	2	2 640	0	6 000	10 500	0
Lätt/styv	2 000	CiH	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	2 000	XL 844	Harvning	0	3	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	2 000	XL 844	Plöjning	5	1	2 000	0	6 000	10 500	390
Lätt/styv	2 000	MF	Högskållning (fördring)	1	1	5 800	7 250	6 900	6 900	-460
Lätt/styv	2 000	XL 844	Stubbearbetning	0	2	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	1 999	Tröska	Tröskning	0	1	5 250	2 250	7 500	6 000	#N/A
Lätt/styv	1 999	CiH	Sprutning ogräs	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	1 999	XL 844	Maskingödsel spridning	0	1	2 640	0	6 000	10 500	0
Lätt/styv	1 999	CiH	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	1 999	CiH	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	1 999	XL 844	Harvning	0	3	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	1 999	MF	Högskållning (fördring)	1	1	5 800	7 250	6 900	6 900	-460
Lätt/styv	1 999	XL 844	Plöjning	5	1	2 000	0	6 000	10 500	390
Lätt/styv	1 999	XL 844	Stubbearbetning	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	1 998	Tröska	Tröskning	0	1	5 250	2 250	7 500	6 000	#N/A
Lätt/styv	1 998	CiH	Sprutning ogräs	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	1 998	XL 844	Maskingödsel spridning	0	1	2 640	0	6 000	10 500	0
Lätt/styv	1 998	CiH	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	1 998	CiH	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	1 998	XL 844	Harvning	0	3	0	0	10 500	10 500	0
Lätt/styv	1 998	MF	Högskållning (fördring)	1	1	5 800	7 250	6 900	6 900	-460
Lätt/styv	1 998	XL 844	Plöjning	5	1	2 000	0	6 000	10 500	390

Bilaga 11:1. Par 2. Medelgårdens odlingssystem. Gård och maskinpark

Indata för gården

Grundläggande uppgifter om gården och maskinparken

Gårdsnamn	Par 2 (medelgård)
Brukare	
Odlingsområde (välj från kartan)	Götalands södra slättbygder
Startår	1997
Telefon	

Maskinpark

[illegible]

Källa: SCB

(<http://www.scb.se/sm/jo15sm0001%5Fkartor.asp#BM2>)

Redskap och övriga maskiner	Arbetsbredd på redskap	Vikt (Kg)	Ringtryck (k P)				Lastvikt Kg
			Fram	Bak	Bak2	Bak3	
Plog (4)	1,6	2000					
Plog (6)	2,4	3000					
Kultivator (5)	5	3400					
Kultivator (6,3)	6,3	3800					
Harv	8,6	2800					
Gödningsspridare	24	1000	1,5				3000
Så jet	6	2500	1,5				4000
Ringvält	12	4900					
Ogrässprika	24	1500	2				2500
Turne kombisåsar	6	5900	1				5000
Betsädd	9	1500					400
Tröska	5,7	10700	0,8	2			7200
Betupptagare	1,35	7000	1				7000
Findus baliplockare	4	18000	2,3	2,3			2000

Bilaga 11:2. Par 2. Medelgårdens odlingssystem. Översikt

Par 2 (medelgård)																	
Armsänksklassning																	
Ar	Skitte	Gröda	Tillfört organiskt material	Datum med årsangivelse			Bortförda Barmarksdagar			Organisk substans			Packing				
				Vår	Sommar	Höst	Såtid	Uppkömst	Skörd	Avkastning (korn)	vår	höst	totalt	Rötter	torrdegar	ton/km ² /ha	ental körtår
1997	Par 2, medel	Vårkörn	1997	Par 2, medel	15-apr-1997	25-apr-1997	10-aug-1997	5500	Nej	96	120	216	4488	4488	70	20	8
1998	Par 2, medel	Åter	1998	Par 2, medel	15-maj-1998	8-jun-1998	28-jul-1998	1750	Nej	68	125	193	1428	1428	11	45	11
1999	Par 2, medel	Höstve	1999	Par 2, medel	20-sep-1998	15-okt-1998	20-aug-1999	9000	Nej		84	84	8951	8951	87	5	10
2000	Par 2, medel	Socketbekt	2000	Par 2, medel	24-apr-2000	1-maj-2000	1-okt-2000	45000	Nej	121	147	268	9180	432	98	15	11
2001	Par 2, medel	Vårve	2001	Par 2, medel	1-apr-2001	25-apr-2001	1-sep-2001	8000	Nej	49	70	119	7956	7956	85	17	7

Bilaga 11:3. Par 2. Medelgårdens odlingssystem. Överfarter och markbelastningar

Skifte	År	Traktor	Bearb	Packning	Körningar	ax1.bel	ax2.bel	ax1.kritisk nivå	ax2.kritisk nivå	traktor-överbelastning
Par 2, medel	2 001	Troska	Troskning	5	1	14 320	3 580	6 000	8 100	#N/A
Par 2, medel	2 001	MB Track	Mineralgödsel spridning	0	1	3 200	0	6 000	10 500	-3 775
Par 2, medel	2 001	MF 3115	Sprutning ogräs	0	2	3 200	0	6 000	10 500	-2 850
Par 2, medel	2 001	NH 3970	Sådd kombi	2	1	8 720	0	7 500	10 500	-535
Par 2, medel	2 001	MF 3680	Harvning	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 531
Par 2, medel	2 001	MF 3680	Plojning	10	1	0	0	10 500	10 500	1 481
Par 2, medel	2 000	NH 3970	Uppt.mask.2 s.betor	17	1	8 000	0	7 500	10 500	520
Par 2, medel	2 000	MF 3115	Sprutning ogräs	0	3	0	0	6 000	10 500	280
Par 2, medel	2 000	MB Track	Mineralgödsel spridning	0	1	3 200	0	6 000	10 500	-3 775
Par 2, medel	2 000	MF 3680	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	-1 625
Par 2, medel	2 000	MF 3680	Harvning	0	2	0	0	10 500	10 500	-2 531
Par 2, medel	2 000	MF 3680	Plojning	15	1	0	0	10 500	10 500	1 481
Par 2, medel	2 000	MF 3680	Stubbearbetning	0	2	0	0	10 500	10 500	-2 845
Par 2, medel	1 999	Troska	Troskning	5	1	14 320	3 580	6 000	8 100	#N/A
Par 2, medel	1 999	MB Track	Mineralgödsel spridning	0	3	3 200	0	6 000	10 500	-3 775
Par 2, medel	1 999	MF 3115	Sprutning svamp+insekt	0	1	3 200	0	6 000	10 500	-2 920
Par 2, medel	1 999	MF 3115	Sprutning ogräs	0	1	3 200	0	6 000	10 500	-2 920
Par 2, medel	1 999	MF 3115	Sådd	0	1	5 200	0	6 000	10 500	-2 420
Par 2, medel	1 999	MF 3680	Harvning	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 531
Par 2, medel	1 999	MF 3680	Stubbearbetning	0	2	0	0	10 500	10 500	-2 845
Par 2, medel	1 998	Fredes hjälpflockare	Troskning	30	1	10 000	10 000	6 000	6 000	#N/A
Par 2, medel	1 998	MF 3115	Sprutning ogräs	0	2	3 200	0	6 000	10 500	0
Par 2, medel	1 998	MF 3115	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 740
Par 2, medel	1 998	MF 3115	Sådd	0	1	5 200	0	6 000	10 500	-2 420
Par 2, medel	1 998	MB Track	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 775
Par 2, medel	1 998	MF 3680	Harvning	0	2	0	0	10 500	10 500	-2 531
Par 2, medel	1 998	MF 3680	Plojning	15	1	0	0	10 500	10 500	1 481
Par 2, medel	1 998	JD 4455	Stubbearbetning	0	2	0	0	10 500	10 500	-2 170
Par 2, medel	1 997	Troska	Troskning	5	1	14 320	3 580	6 000	8 100	#N/A
Par 2, medel	1 997	MB Track	Sprutning ogräs	0	1	3 200	0	6 000	10 500	-3 775
Par 2, medel	1 997	MF 3115	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 740
Par 2, medel	1 997	MF 3115	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 420
Par 2, medel	1 997	MB Track	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 775
Par 2, medel	1 997	MF 3680	Harvning	0	2	0	0	10 500	10 500	-2 531
Par 2, medel	1 997	MF 3680	Plojning	15	1	0	0	10 500	10 500	1 481

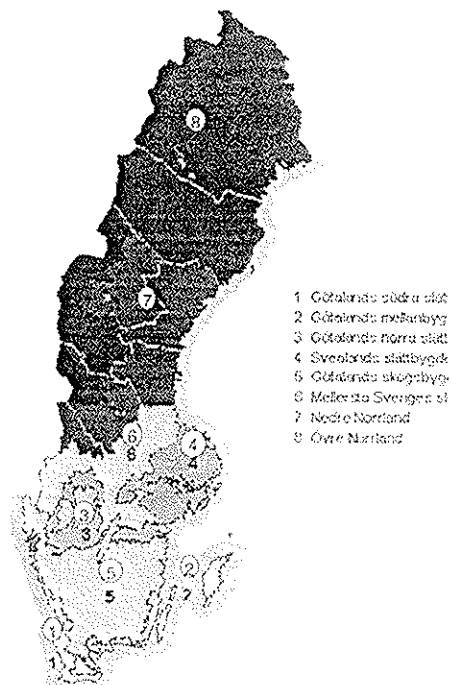
Bilaga 11:4. Par 2. Plusgårdens odlingssystem. Gård och maskinpark

Indata för gården

Grundläggande uppgifter om gården och maskinparken

Gårdsnamn	Par 2 (plusgård)
Brukare	
Odlingsområde (välj från kartan)	Götalands södra slättbygder
Startår	1997
Telefon	

Maskinpark

[illegible]

Källa: SCB

(<http://www.scb.se/sm/jo15sm0001%5Fkartor.asp#BM2>)

Redskap och övriga maskiner	Arbetsbredd på redskap	Vikt (Kg)	Ringtryck (k P)				Lastvikt Kg
			Fram	Bak	Bak2	Bak3	
Tröska 1530	4	7000	2	2			3000
Plog Kvernland	1,52	1200					
Tive såjet	6	2000	2,8	1,8			3000
Tive gödselspridare	12	2500	2,8	2,8			3500
Gödselspridare Bo	24	350					1200
Fältvagn 1	50	3000	2				8000
Fältvagn 2	50	3000	6	6			8000
Kultivator Vädersta	3,5	2000					
Harv Väderstad	7,8	2500					
Såbäddsharv Gern	5	2000					
Spruta (Lomma BS	24	2000	1,5				3300
Vält Väderstad	10	4000					
Halmpress	4	1000					
Halmsamling	4	500					1400
Lejd 18r såmaskin	9	1500					500
Radrensare/hack	4,5	500					
Betupptagare (3)	1,35	7000	1				7000

Bilaga 11:5. Par 2. Plusgårdens odlingssystem. Översikt

Par 2 (plusgård)									
Årsmånsklassning									
År	Skifte	Gröda	Tillfört organiskt material	Datum med årsangivelse	Skörd	Bortförd ha	Avkastning (kg/ha)	Organisk substans	Packning
			Mängd (kg ts-halt)	Såtid	Uppkömst	Barnmarksdagar		Rötter	ton*km/ha
						vår	höst	totalt	torrkddagar
						7500 Nej	76	120	74
1997	Par 2, plus Vårvele			26-mar-1997	5-apr-1997	20-aug-1997	7500 Nej	196	7459
									10
1998	Par 2, plus Vårkorn			21-apr-1998	1-maj-1998	12-aug-1998	7500 Nej	137	6120
									11
1999	Par 2, plus Höstvele			15-sep-1998	25-sep-1998	20-aug-1999	8000 Nej	49	7956
									87
2000	Par 2, plus Sockerbett			22-apr-2000	29-apr-2000	1-okt-2000	54000	266	11016
									98
2001	Par 2, plus Vårvele			6-mar-2001	16-mar-2001	21-aug-2001	7000 Ja	79	2975
									85
									10
									12

Bilaga 11:6. Par 2. Plusgårdens odlingssystem. Överfarter och markbelastningar

Skifte	År	Traktor	Bearb	Packning	Körningar	ax1.bel	ax2.bel	ax1.kritisk nivå	ax2.kritisk nivå	traktor-överbelastning
Par 2, plus	2 001	7710 4WD	Lastning	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 025
Par 2, plus	2 001	7710 4WD	Pressning halm	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 925
Par 2, plus	2 001	Troska 1530	Troskning	1	1	7 000	3 000	6 000	6 000	#N/A
Par 2, plus	2 001	7710 4WD	Sprutning svamp+insekt	0	1	4 240	0	6 000	10 500	-4 865
Par 2, plus	2 001	7710 4WD	Sprutning ogräs	0	1	4 240	0	6 000	10 500	-4 865
Par 2, plus	2 001	7710 4WD	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 375
Par 2, plus	2 001	7710 4WD	Mineralgödsel spridning	0	1	2 400	3 000	6 000	6 000	0
Par 2, plus	2 001	7710 4WD	Sådd	0	1	2 000	2 500	6 000	6 000	-4 925
Par 2, plus	2 001	Cuac B15150 4WD	Harvning	0	3	0	0	10 500	10 500	-4 275
Par 2, plus	2 001	Cuac B15150 4WD	Plojning	9	1	0	0	10 500	10 500	975
Par 2, plus	2 000	7710 4WD	Transport	0	1	4 400	5 500	6 000	6 000	-3 725
Par 2, plus	2 000	Cuac B15150 4WD	Uppt.msk.2 s.betor	12	1	11 200	0	7 500	10 500	-2 300
Par 2, plus	2 000	7710 4WD	Ogrärensning	0	2	0	0	10 500	10 500	-5 825
Par 2, plus	2 000	7710 4WD	Sprutning ogräs	0	3	4 240	0	6 000	10 500	-4 865
Par 2, plus	2 000	7710 4WD	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 925
Par 2, plus	2 000	7710 4WD	Mineralgödsel spridning	0	1	2 400	3 000	6 000	6 000	-4 725
Par 2, plus	2 000	Cuac B15150 4WD	Harvning	0	4	0	0	10 500	10 500	-4 275
Par 2, plus	2 000	Cuac B15150 4WD	Plojning	9	1	0	0	10 500	10 500	975
Par 2, plus	2 000	Cuac B15150 4WD	Stubbearbetning	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 700
Par 2, plus	1 999	Troska 1530	Troskning	1	1	7 000	3 000	6 000	6 000	#N/A
Par 2, plus	1 999	7710 4WD	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 375
Par 2, plus	1 999	7710 4WD	Mineralgödsel spridning	0	2	2 400	3 000	6 000	6 000	-4 725
Par 2, plus	1 999	7710 4WD	Sprutning svamp+insekt	0	1	4 240	0	6 000	10 500	-4 865
Par 2, plus	1 999	7710 4WD	Sprutning ogräs	0	2	4 240	0	6 000	10 500	-4 865
Par 2, plus	1 999	7710 4WD	Sådd	0	1	2 000	2 500	6 000	6 000	-4 925
Par 2, plus	1 999	Cuac B15150 4WD	Harvning	0	2	0	0	10 500	10 500	-4 275
Par 2, plus	1 999	7710 4WD	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	-5 125
Par 2, plus	1 999	Cuac B15150 4WD	Plojning	9	1	0	0	10 500	10 500	975
Par 2, plus	1 998	7710 4WD	Hemtransport	0	1	4 400	5 500	6 000	6 000	-3 725
Par 2, plus	1 998	Troska 1530	Troskning	1	1	7 000	3 000	6 000	6 000	#N/A
Par 2, plus	1 998	7710 4WD	Sprutning svamp+insekt	0	1	4 240	0	6 000	10 500	-4 865
Par 2, plus	1 998	7710 4WD	Sprutning ogräs	0	1	4 240	0	6 000	10 500	-4 865
Par 2, plus	1 998	7710 4WD	Mineralgödsel spridning	0	1	2 400	3 000	6 000	6 000	-4 725
Par 2, plus	1 998	7710 4WD	Harvning	0	2	0	0	10 500	10 500	-4 275
Par 2, plus	1 998	Cuac B15150 4WD	Plojning	9	1	0	0	10 500	10 500	975
Par 2, plus	1 997	Troska 1530	Troskning	1	1	7 000	3 000	6 000	6 000	#N/A
Par 2, plus	1 997	7710 4WD	Sprutning svamp+insekt	0	2	4 240	0	6 000	10 500	-4 865
Par 2, plus	1 997	7710 4WD	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 375
Par 2, plus	1 997	7710 4WD	Mineralgödsel spridning	0	2	2 400	3 000	6 000	6 000	-4 725
Par 2, plus	1 997	Cuac B15150 4WD	Harvning	0	2	0	0	10 500	10 500	-4 275
Par 2, plus	1 997	Cuac B15150 4WD	Plojning	9	1	0	0	10 500	10 500	975

Bilaga 12:1. Par 3. Medelgårdens odlingssystem. Gård och maskinpark

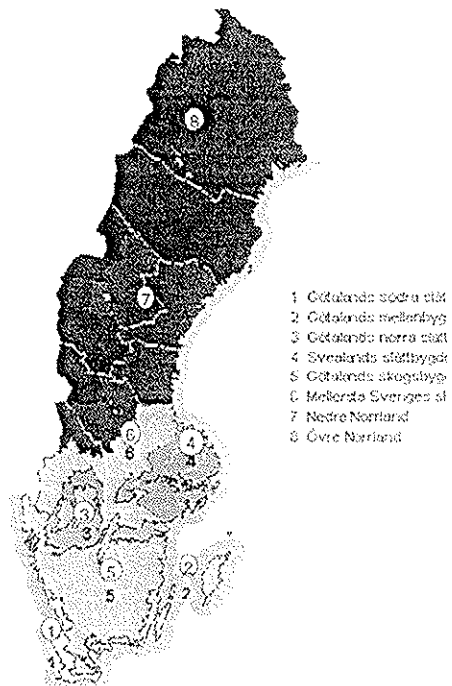
Indata för gården

Grundläggande uppgifter om gården och maskinparken

Gårdsnamn Par 3 (medelgård)
 Brukare _____
 Odlingsområde (välj från kartan) Götalands södra slättbygder
 Startår 1994
 Telefon _____

Maskinpark

Traktor/ Dragmaskin	Vikt (Kg)	Ringtryck bak (k P)
NH 8670	8000	0.8
NH 8260	5250	0.8
FNH 8340	5250	1
Ford 8210	5680	0.8
Ford 5110	4530	0.8



Källa: SCB
 (http://www.scb.se/sm/fo15sm0001%5Fkartor.asp#BM2)

Redskap och övriga maskiner	Arbetsbredd på redskap	Vikt (Kg)	Ringtryck (k P)				Lastvikt Kg
			Fram	Bak	Bak2	Bak3	
Såmaskin Concord	6	3700					1500
Betupptagare Eder	1,44	8000	1				8000
Gödnings-spridare	24	400					2000
Ringvält	6	3000					
Crosskillvält	6,2	3000					
Tröska	6,7	13000	1,7		2		6000
Tallriksredskap	6,2	7000					
Växelplog	2	3000					
Sladdharv	6,7	2000					
Betsåmaskin	8,64	1800					400
Spruta 1	26	3500	2				6000
Spruta 2	24	3500	2		2		7100
Radspruta	8,64	1500					1000
Följevagn	20	2000		2,5			10000
Radrensare	4,32	1100					
Djupharv	3,5	1100					
Tiltpackare	2	8000					
Findus baljblockare	4	18000	2,3		2,3		2000
Concorde+Crosski	6	6700					
Tallriksredskap+vå	6,2	10000					

Bilaga 12:2. Par 3. Medelgårdens odlingssystem. Översikt

Par 3 (medelgård) Årsmånsklassning

År	Skifte	Gröda	Tillfört organiskt material	Mängd kg ts-halt	Datum med årsangivelse	Skörd	Avkastning (kg/ha)	Bortförd ha	Barmarksdagar	Höst	vår	totalt	Organisk substans	Rötter	torkdagar	ton/ha	Packning	antal körar
1994	Par 3, medel	Höststraps	Typ		17-aug-1993	27-aug-1993	1-aug-1994	3600 Nej				17	5733	5733	80	26	10	
1995	Par 3, medel	Höststraps	Typ		12-sep-1994	22-sep-1994	12-aug-1995	8500 Nej				57	8453	8453	80	26	7	
1996	Par 3, medel	Socketbet	Typ		25-apr-1996	7-maj-1996	25-okt-1996	52000 Nej		46		100	10608	499	98	36	12	
1997	Par 3, medel	Ärter	Typ		27-apr-1997	8-maj-1997	15-jul-1997	2100 Nej		117		46	1714	1714	70	44	7	
1998	Par 3, medel	Höststraps	Typ		8-aug-1997	14-aug-1997	20-jul-1998	4400 Nej				35	7007	7007	52	26	10	
1999	Par 3, medel	höstvele	Typ		9-okt-1998	20-sep-1998	24-aug-1999	9000 Nej				67	8951	8951	87	12	10	
2000	Par 3, medel	Socketbet	Typ		8-apr-2000	25-apr-2000	11-okt-2000	55000 Nej		115		143	11220	528	98	36	12	

Bilaga 12:3. Par 3. Medelgårdens odlingssystem. Överfarter och markbelastningar

Skifte	År	Traktor	Bearb	Packning	Körningar	ax1.bel	ax2.bel	ax1.kritisk nivå	ax2.kritisk nivå	traktorbelastning
Par 3, medel	2 000	se år 1996								
Par 3, medel	1 999	Tröska	Tröskning	12	1	13 300	5 700	6 000	6 000	#N/A
Par 3, medel	1 999	Ford 5110	Sprutning svamp+insekt	1	1	7 600	0	6 000	10 500	-2 493
Par 3, medel	1 999	Ford 5110	Mineralgödsel spridning	0	4	0	0	10 500	10 500	-2 360
Par 3, medel	1 999	Ford 5110	Sprutning ogräs	0	2	4 240	5 300	6 000	6 000	-2 493
Par 3, medel	1 999	NH 8670	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 660
Par 3, medel	1 999	NH 8670	Djupkult	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 160
Par 3, medel	1 998	se år 1994								
Par 3, medel	1 997	Fendt tågplöjare	Tröskning	30	1	10 000	10 000	6 000	6 000	#N/A
Par 3, medel	1 997	FNH 8340	Sprutning svamp+insekt	0	1	4 240	5 300	6 000	6 000	-2 493
Par 3, medel	1 997	FNH 8340	Sprutning ogräs	0	1	4 240	5 300	6 000	6 000	-2 493
Par 3, medel	1 997	NH 8260	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 350
Par 3, medel	1 997	NH 8670	Sådd kombi	0	2	0	0	10 500	10 500	-2 660
Par 3, medel	1 997	NH 8670	Plöjning	14	1	0	0	10 500	10 500	1 800
Par 3, medel	1 996	Ford 8210	Transport	2	1	9 600	0	6 000	10 500	-2 519
Par 3, medel	1 996	FNH 8340	Uppi mask 2 x betor	20	1	0	0	10 500	10 500	-1 150
Par 3, medel	1 996	Ford 5110	Sprutning svamp+insekt	0	1	7 600	0	6 000	10 500	-3 709
Par 3, medel	1 996	Ford 5110	Sprutning ogräs	0	1	7 600	0	6 000	10 500	-3 709
Par 3, medel	1 996	Ford 5110	Ogrärensning	0	1	0	0	10 500	10 500	-5 389
Par 3, medel	1 996	FNH 8340	Sprutning ogräs	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 850
Par 3, medel	1 996	Ford 5110	Sprutning ogräs	0	1	7 600	0	6 000	10 500	-3 709
Par 3, medel	1 996	FNH 8340	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 150
Par 3, medel	1 996	NH 8670	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 360
Par 3, medel	1 996	NH 8670	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 660
Par 3, medel	1 996	NH 8670	Harvning	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 200
Par 3, medel	1 996	NH 8670	Plöjning	14	1	0	0	10 500	10 500	1 800
Par 3, medel	1 995	Tröska	Tröskning	12	1	13 300	5 700	6 000	6 000	#N/A
Par 3, medel	1 995	Ford 5110	Sprutning svamp+insekt	0	1	4 240	5 300	6 000	6 000	-3 489
Par 3, medel	1 995	Ford 5110	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 209
Par 3, medel	1 995	NH 8670	Sådd kombi	0	2	0	0	10 500	10 500	-2 660
Par 3, medel	1 995	NH 8670	Plöjning	14	1	0	0	10 500	10 500	1 800
Par 3, medel	1 995	Ford 8210	Stubbearbetning	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 919
Par 3, medel	1 994	Tröska	Tröskning	12	1	13 300	5 700	6 000	6 000	#N/A
Par 3, medel	1 994	Ford 5110	Sprutning svamp+insekt	0	2	7 600	0	6 000	10 500	-3 708
Par 3, medel	1 994	FNH 8340	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 870
Par 3, medel	1 994	Ford 5110	Sprutning ogräs	0	1	4 240	5 300	6 000	6 000	-3 488
Par 3, medel	1 994	Ford 5110	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 972
Par 3, medel	1 994	Ford 8210	Sådd kombi	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 660
Par 3, medel	1 994	NH 8670	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 630
Par 3, medel	1 994	NH 8670	Harvning	0	1	0	0	10 500	10 500	-2 660
Par 3, medel	1 994	NH 8670	Plöjning	14	1	0	0	10 500	10 500	1 800

Grundläggande uppgifter om gården och maskinparken

1. Götaland; södra del
2. Götaland; mellanbygd
3. Götaland; norra del
4. Svealand; slättbygd
5. Götaland; skogsbygd
6. Mellan till Sverige, el
7. Nya Norrland
8. Östra Norrland

Källa: SCB

(<http://www.scb.se/sm/jo15sm0001%5Fkartor.asp#BM2>)

[illegible]

Redskap och övriga maskiner	Arbetsbredd på redskap	Vikt (Kg)	Ringtryck (k P)				Lastvikt Kg
			Fram	Bak	Bak2	Bak3	
Tröska	3,6	3400	1,1	1,5			2000
Plog (3)	1,2	1000					
Såmaskin	4	540	2,4				300
Såbäddsharv	6	1500	1				
Gödseltunna	12	2000	0,8				5000
Gödselspridare	4	2300	2,5	2,5			8000
Halmpress	2	1500	1,1				
Balvagn	2	600	2				1000
Gödnings-spridare	12	540					1000
Växtskydds-spruta	12	350					800
Betupptagare	0,5	3500	2				3000
Taflriksharv	4	2300	2,5				
Slätterkross Taurus	1,8	1000					
Vändare	3	500					
Radrensare	4,5	500					
Betsåmaskin	4	1000					1800
Vält	6	2500					

Bilaga 12:5. Par 3. Plusgårdens odlingssystem. Översikt

Skifte	År	Traktor	Bearb	Packning	Körningar	ax1.bel	ax2.bel	ax1 kritisk nivå	ax2.kritisk nivå	traktor-överbelastning
Par 3, plus	2 001	MF 4245	Hemtransport	0	1	1 280	0	6 000	10 500	-5 182
Par 3, plus	2 001	Case MX 100	Pressning halm	0	1	1 200	0	7 200	10 500	-4 132
Par 3, plus	2 001	Tröska	Tröskning	0	1	3 780	1 620	7 200	6 000	#N/A
Par 3, plus	2 001	MF 4245	Sprutning svamp+insekt	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 722
Par 3, plus	2 001	MF 4245	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	-7 500
Par 3, plus	2 001	MF 4245	Sådd	0	1	0	0	6 000	10 500	-4 782
Par 3, plus	2 001	MF 4245	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 742
Par 3, plus	2 001	MF 4245	Harvning	0	2	0	0	10 500	10 500	-3 982
Par 3, plus	2 001	Case MX 100	Plöjning	12	1	0	0	10 500	10 500	894
Par 3, plus	2 000	MF 4245	Uppt.mask.2 s.betor	0	1	5 200	0	6 000	10 500	-3 982
Par 3, plus	2 000	MF 4245	Ogräsrensning	0	1	0	0	10 500	10 500	-5 182
Par 3, plus	2 000	MF 4245	Sprutning svamp+insekt	0	2	0	0	10 500	10 500	-4 132
Par 3, plus	2 000	MF 4245	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 782
Par 3, plus	2 000	MF 4245	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	-7 500
Par 3, plus	2 000	MF 4245	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 742
Par 3, plus	2 000	Case MX 100	Harvning	0	2	1 500	0	7 500	10 500	-3 982
Par 3, plus	2 000	Case MX 100	Plöjning	12	1	0	0	10 500	10 500	894
Par 3, plus	2 000	Case MX 100	Harvning	0	2	2 300	0	6 000	10 500	-3 982
Par 3, plus	1 999	Case MX 100	Harvning	0	2	1 500	0	7 500	10 500	-3 982
Par 3, plus	1 999	Case MX 100	Hemtransport	0	1	1 280	0	6 000	10 500	-5 182
Par 3, plus	1 999	Case MX 100	Pressning halm	0	1	1 200	0	7 200	10 500	-4 132
Par 3, plus	1 999	Tröska	Tröskning	0	1	2 700	2 700	7 200	6 000	#N/A
Par 3, plus	1 999	MF 4245	Sprutning svamp+insekt	0	2	0	0	10 500	10 500	-4 722
Par 3, plus	1 999	MF 4245	Mineralgödsel spridning	0	3	0	0	10 500	10 500	-3 742
Par 3, plus	1 999	MF 4245	Sprutning svamp+insekt	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 722
Par 3, plus	1 999	MF 4245	Sådd	0	1	672	0	6 000	10 500	-4 782
Par 3, plus	1 999	Case MX 100	Harvning	0	2	1 840	0	6 000	10 500	-3 982
Par 3, plus	1 999	Case MX 100	Plöjning	12	1	0	0	10 500	10 500	894
Par 3, plus	1 999	Case MX 100	Fastgödsel	0	1	4 120	5 150	6 000	6 000	-2 248
Par 3, plus	1 998	MF 4245	Hemtransport	0	1	1 280	0	6 000	10 500	-5 182
Par 3, plus	1 998	Case MX 100	Pressning halm	0	1	1 200	0	7 200	10 500	-4 132
Par 3, plus	1 998	Tröska	Tröskning	0	1	3 780	1 620	7 200	6 000	#N/A
Par 3, plus	1 998	MF 4245	Sprutning svamp+insekt	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 722
Par 3, plus	1 998	MF 4245	Vältning	0	1	0	0	10 500	10 500	-7 500
Par 3, plus	1 998	MF 4245	Sådd	0	1	672	0	6 000	10 500	-4 782
Par 3, plus	1 998	MF 4245	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 742
Par 3, plus	1 998	Case MX 100	Harvning	0	2	1 500	0	7 500	10 500	-3 982
Par 3, plus	1 998	Case MX 100	Plöjning	12	1	0	0	10 500	10 500	894
Par 3, plus	1 997	MF 4245	Uppt.mask.2 s.betor	0	1	5 200	0	6 000	10 500	-3 982
Par 3, plus	1 997	MF 4245	Ogräsrensning	0	2	0	0	10 500	10 500	-5 182
Par 3, plus	1 997	MF 4245	Sprutning ogräs	0	2	0	0	10 500	10 500	-4 722
Par 3, plus	1 997	MF 4245	Sådd	0	1	0	0	10 500	10 500	-4 782
Par 3, plus	1 997	MF 4245	Vältning	0	1	1 840	0	6 000	10 500	-7 500
Par 3, plus	1 997	MF 4245	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 742
Par 3, plus	1 997	Case MX 100	Harvning	0	2	1 500	0	7 500	10 500	-3 982
Par 3, plus	1 997	Case MX 100	Plöjning	12	1	0	0	10 500	10 500	894
Par 3, plus	1 995	MF 4245	Hemtransport	0	1	0	0	6 000	10 500	-5 182
Par 3, plus	1 995	MF 4245	Vändning	0	3	0	0	10 500	10 500	-5 182
Par 3, plus	1 995	MF 4245	Huggning (vall)	0	1	0	0	10 500	10 500	-5082
Par 3, plus	1 995	Case MX 100	Flytgödseltunna (spridning)	0	1	0	0	6 000	6 000	-2 908
Par 3, plus	1 995	MF 4245	Mineralgödsel spridning	0	1	0	0	10 500	10 500	-3 742

Bilaga 12:6. Par 3. Plusgårdens odlingssystem. Överfarter och markbelastningar

Par 3 (plusgård)									
Årsmånsklassning									
År	Skifte	Gröda	Typ	Tillfört organiskt material		Datum med årsangivelse		Bortförd halm	
				Mängd (t-is-halt)	Sädd	11-apr-1994	21-apr-1994	Uppkomst	Skörd
1995	Par 3, plus	Vall	Vall	20000					19-jun-1995
1996	Par 3, plus	Vall	urin	20000					6-jun-1996
1997	Par 3, plus	Socketbt				12-apr-1997	30-apr-1997	25-okt-1997	60000 Nej
1998	Par 3, plus	Vårkom				30-mar-1998	9-apr-1998	15-aug-1998	8000 Ja
1999	Par 3, plus	Höstvete fasigöds		25000	0,25	24-sep-1998	4-okt-1998	24-aug-1999	9000 Ja
2000	Par 3, plus	Socketbt				9-apr-2000	27-apr-2000	5-okt-2000	70000 Nej
2001	Par 3, plus	Vårkom				31-mar-2001	10-apr-2001	1-aug-2001	86000 Ja
Barnmarksdagar									
Barnmarksdagar våren									
Barnmarksdagar hösten									
Barnmarksdagar totalt									
Organisk substans									
Rötter									
1983									
1984									
1985									
1986									
1987									
1988									
1989									
1990									
1991									
1992									
1993									
1994									
1995									
1996									
1997									
1998									
1999									
2000									
2001									
Packing									
ton-km/ha									
1983									
1984									
1985									
1986									
1987									
1988									
1989									
1990									
1991									
1992									
1993									
1994									
1995									
1996									
1997									
1998									
1999									
2000									
2001									

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE. Fr o m 1998

- 98:1 Lustig, T. Land Evaluation Methodology. Small-Scale Agro-Pastoralist Farming Systems. Agricultural community case study in the IV region of Chile. 91 s.
- 98:2 Jansson, P-E. Simulating model for soil water and heat conditions. Description of the SOIL model. 81 s.
- 98:3 Casanova, M. Influence of slope gradient and aspect on soil hydraulic conductivity measured with tension infiltrometer. Field study in the Central Zone of Chile. 50 s.
- 98:4 Ingvar-Nilsson, N. Variationsmönster hos grundvattennivåerna i skogsmark. Fältstudier i Norunda hösten 1995. 52 s.
- 98:5 Carlsson, M. Sources of errors in Time Domain Reflectometry measurements of soil moisture. 50 s.
- 98:6 Eckersten, H., Jansson, P-E., & Johnsson, H. SOILN model, User's manual. Version 9.2. 113 s.
- 98:7 Quang, v. P. Soil water flow dynamics on raised beds in an acid sulphate soil. Field study at Hoa An station, Mekong delta, Vietnam. 33 s.
- 98:8 Tri, V.K. Water flow paths during the rainy season in an acid sulphate soil. Field study in the plain of reeds of the Mekong delta, Vietnam. 40 s.
- 98:9 Eckersten, H., Jansson, P-E., Karlsson, S., Lindroth, A., Persson, B., Perttu, K., Blombäck, K., Karlberg, L. & Persson, G. Biogeofysik - en introduktion. 146 s.
- 99:1 Kindvall, T. Strukturkalkning på lerjordar - effekter på markstruktur och sockerbetsskörd. 55 s.
- 99:2 Börjesson, E. Naturliga system för rening av lakvatten i Ranstad - vilka är möjligheterna? 67 s.
- 99:3 Gärdenäs, A. (ed). Scale and variability issues in the soil-hydrological system. Workshop proceedings. The 25-27th of August 1999 at Wiks Castle, Sweden. 57 s.
- 99:4 Bengtson, L. Retention of colloids in lysimeter experiments on undisturbed macroporous clay soil. 43 s.
- 99:5 Wennman, P. Vegetationsfilter för rening av lakvatten - kväveaspekter. 45 s.
- 00:1 Stjernman, L. Gruvavfall som växtsubstrat - effekter av organiskt material. 58 s.
- 00:2 Björkman, N. Biologisk alvluckring - effekter av rödklöver och lusern på markstruktur och sockerbetsskörd. 58 s.
- 01:1 Gustafsson, H. The use of plants for soil remediation at Milford Haven Refinery in South Wales. 37 s.
- 02:1 Lundberg, M. Skador av is och ytvatten i vall i norra Sverige. 80 s.
- 02:2 Gustafsson Bjuréus, A. & Karlsson, J. Markstrukturindex – utvärdering av en metod att bedöma odlingssystemets uthållighet och jordarnas fysikaliska status. 167 S.

Denna serie meddelanden utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Serien innehåller sådana forsknings- och försöksredogörelser samt andra uppsatser som bedöms vara av i första hand internt intresse. Uppsatser lämpade för en mer allmän spridning publiceras bl a i avdelningens rapportserie. Tidigare nummer i meddelandeserien kan i mån av tillgång levereras från avdelningen.

This series of Communications is produced by the Division of Agricultural Hydrotechnics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. The series consists of reports on research and field trials and of other articles considered to be of interest mainly within the department. Articles of more general interest are published in, for example, the department's Report series. Earlier issues in the Communications series can be obtained from the Division of Agricultural Hydrotechnics (subject to availability).

Distribution:

Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik
Box 7014
750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 11 85, 67 11 86

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics
P.O. Box 7014
S-750 07 UPPSALA, SWEDEN

Tel. +46-(18) 67 11 85, +46-(18) 67 11 86
